Generación de modelos de información para la gestión de una intervención en el patrimonio arquitectónico

Tesis Doctoral

Directores

D. David Marín García y D. Fernando Rico Delgado

Tutor

D. Juan José Moyano Campos

Firmado digitalmente por Juan Enrique Nieto Julian
Nombre de reconocimiento (DN): cn=Juan Enrique Nieto Julian, o=Universidad de Sevilla, ou=Profesor Colaborador, email=jenieto@us.es, c=ES
Fecha: 2014.04.06 00:53:00 +02'00'

Doctorando

D. Juan Enrique Nieto Julián

Sevilla, marzo de 2014

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación

Departamento de Expresión Gráfica e Ingeniería en la Edificación

TESIS DOCTORAL

Generación de modelos de información para la gestión de una intervención en el patrimonio arquitectónico

Programa de Doctorado:
Tecnología de la Construcción: Investigación, Desarrollo e Innovación

Departamento de Expresión Gráfica e Ingeniería en la Edificación
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación
Universidad de Sevilla.

Doctorando: Juan Enrique Nieto Julián

Tutor: Doctor Juan José Moyano Campo

Directores: Doctor David Marín García
Doctor Fernando Rico Delgado

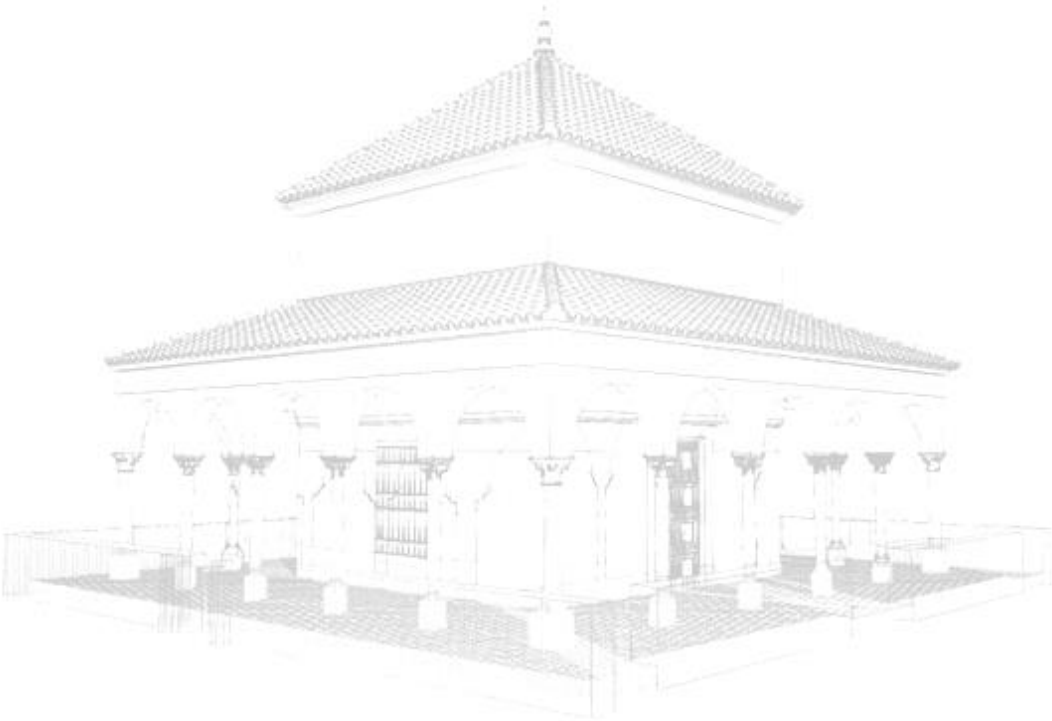
Sevilla, Marzo de 2014

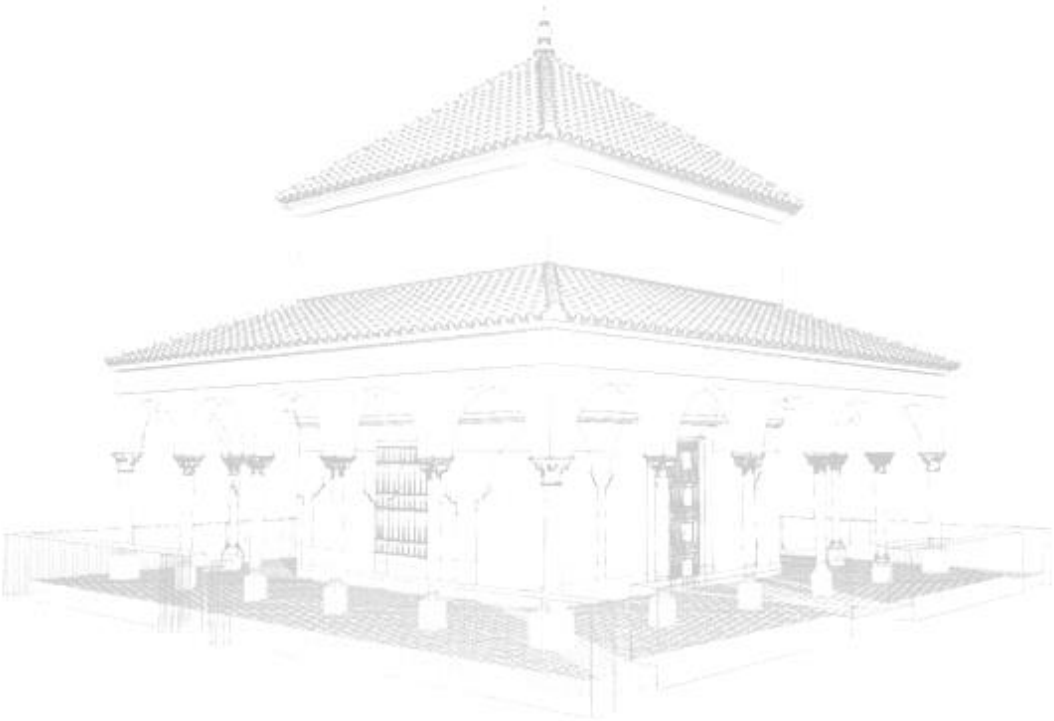
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación

Universidad de Sevilla

Departamento de Expresión Gráfica e Ingeniería en la Edificación

Agradecimientos





Síntesis

En el campo de la arquitectura se lleva más de veinte años trabajando con aplicaciones que desde un primer momento fueron pensadas para modelar elementos y sistemas constructivos. Los modelos infográficos 3D han facilitado bastante la visualización y el entendimiento de la arquitectura, con el añadido que podemos explorar el modelo interactuando de manera virtual y en tiempo real. Hoy en día, lo que se persigue es implantar de manera generalizada un nuevo concepto de trabajo basado en un modelo de datos representado, enfocado a incorporar nuevos factores como la gestión y la transmisión de información, y que se ha establecido a ámbito internacional en los últimos años con el término de tecnología BIM.

En el entorno dinámico en que nos movemos actualmente, donde se nos exige trabajos mejores coordinados, productivos y totalmente eficaces, la tecnología BIM nos puede ayudar a desenvolvernos de forma más vigorosa en un campo tecnológico de continuos avances y que requiere de equipos multidisciplinares bien sistematizados.

El Modelo de Información para la Construcción o BIM se ha convertido actualmente en un sistema colaborativo que beneficia enormemente a las industrias involucradas en el sector AEC. La esencia del BIM es ser un núcleo contenedor con información gráfica y alfanumérica, donde cada disciplina participativa vuelca sus conocimientos para adaptarse a las peculiaridades del edificio de forma coordinada con los demás agentes intervinientes. Si este mismo escenario lo trasladamos al Patrimonio, veremos que las necesidades serán las mismas. El arqueólogo, el arquitecto, el historiador, el ingeniero o el restaurador se encuentran en la misma encrucijada a la hora de trasmitir sus suposiciones y ponerlas en debate antes de llegar a un asentimiento reflexivo.

Por otro lado, las últimas técnicas de levantamiento y de manipulación de la imagen digital que están a nuestro alcance hacen que nos replanteemos una metodología de trabajo distinta a la actual. Estamos obligados a hacer uso de los últimos avances en técnicas de adquisición de datos, imprescindibles tanto para la correcta representación del patrimonio construido como para el análisis y diagnóstico en las posteriores intervenciones. La sociedad va tomando un mayor interés por los valores culturales heredados de nuestros antepasados, lo que obliga a los investigadores a ser más eficientes en las técnicas de conocimiento, conservación y protección del patrimonio. Y es aquí donde hay que enfatizar la importancia de disponer de una buena documentación, sobre todo gráfica, que esté constantemente actualizada y que no deje falsos vestigios en las intervenciones, sean actuales o venideras.

Pero habría que agregar otra consideración, como es la exigencia en los últimos años por algunas entidades y organismos estatales de un trabajo eficiente y productivo en el campo de la construcción, que en el caso del patrimonio arquitectónico e histórico en general se traduce en emplear sistemas de

conocimiento, conservación y protección más eficaces. Estos primeros pasos suponen el establecimiento de un nuevo patrón que coloca al Sistema BIM en el centro de estos objetivos y que regirá el devenir de la construcción en todas sus facetas en el arranque del siglo XXI.

Teniendo en cuenta las consideraciones expuestas, el trabajo de la Tesis se centrará en generar un modelo de información destinado al Patrimonio, empleando las tecnologías existentes más innovadoras para la adquisición de información geométrica del edificio histórico, sus aspectos externos y las propiedades físicas de los materiales empleados. La intención es volcar toda la información recabada en la fase de auscultación y levantamiento en un único modelo gráfico, que sea operativo desde las diferentes disciplinas y permita interoperacionalizar datos evitando duplicaciones superfluas y en ocasiones contradictorias. Por tanto, se constituirá un proyecto de intervención sustentado por un Modelo de Información del Edificio Histórico, que podemos llegar a denominar Proyecto HBIM (*Historic Building Information Modelling*).

El Proyecto HBIM equivaldrá a un sistema de información integrado, con un modelo virtual del edificio histórico y una base de datos enlazada a él, que nos facilitará una gestión eficaz de la planimetría, con una actualización constante de sus vistas, y un inventariado de todos los elementos constituyentes, estructurados por categorías mediantes listados y esquemas interactivos.

Palabras Clave

BIM, Building Information Modeling, digitalización, expresión gráfica arquitectónica, fotogrametría, interoperabilidad, interoperacionalizar información, levantamiento geométrico tridimensional, levantamiento gráfico arquitectónico, levantamiento arqueológico, láser escáner, modelo virtual, modelo de información, ortofoto, realidad virtual, restitución fotogramétrica, sistema de Información geográfica, SIG, sistemas de información patrimonial, SIP.

Abstract

In the field of architecture has over twenty years working with applications from the outset were designed to model building elements and systems. 3D computer models have provided enough visualization and understanding of architecture, with the addition that we can explore the interacting model virtually and in real time. Today, what is sought is widely implement a new concept of work based on a data model represented, focusing on incorporating new factors such as management and information transmission, and has established internationally in recent years with the completion of BIM technology.

In the dynamic environment in which we currently operate, where we are required to work better coordinated, productive and fully effective, the BIM technology can help us to develop ourselves more vigorously in a technological field that requires continuous advances and multidisciplinary teams well systematized .

The Information Model or BIM for Construction has now become a collaborative system that greatly benefits the industries involved in the AEC sector. The essence of BIM is to be a container core with graphic and alphanumeric information, where each discipline participatory dump their knowledge to suit the peculiarities of the building in coordination with the other agents involved. If this same scenario is moved to Heritage, we see that the needs are the same. Archaeologist, architect, historian, restorer or engineer found in the same crossroads when their assumptions and convey them in discussion before reaching a thoughtful nod.

Moreover, the latest lifting techniques and digital image manipulation that are within our reach makes us rethink methodology different from the present work. We are obliged to make use of the latest advances in data acquisition techniques, essential for the correct representation of the built heritage and for analysis and diagnosis in subsequent interventions. The company is taking a greater interest in cultural values inherited from our ancestors, forcing researchers to be more efficient in technical knowledge, conservation and heritage protection. And this is where we must emphasize the importance of good documentation, especially graph, which is constantly updated and never leave traces false interventions, current or future.

But we must add another consideration, as is the requirement in recent years by some entities and agencies in an efficient and productive work in the field of construction, which in the case of architectural and historical heritage in general translates to using systems knowledge, conservation and more effective protection. These first steps involve establishing a new pattern that places the BIM system in the center of these objectives and to govern the future of the building in all its facets at start of the century.

Given the above, the work of the thesis will focus on creating an information model intended for Heritage, using existing innovative technologies for the

acquisition of geometric information from the historic building, its external aspects and physical properties of materials employees. The intention is to put all the information gathered in the survey phase and auscultation in a single graphical model, which is operating from different disciplines and allow inter operationalize avoiding unnecessary data and sometimes contradictory duplication. Therefore, an intervention project supported by a model Information Historic Building, that we can call HBIM Project (Historic Building Information Modelling) is established.

The project HBIM equal an integrated information system , with a virtual model of the historic building and a database linked to it, we will facilitate effective management of surveying with constantly updating their views, and inventory of all constituent elements , structured by categories listings in editing and interactive diagrams.

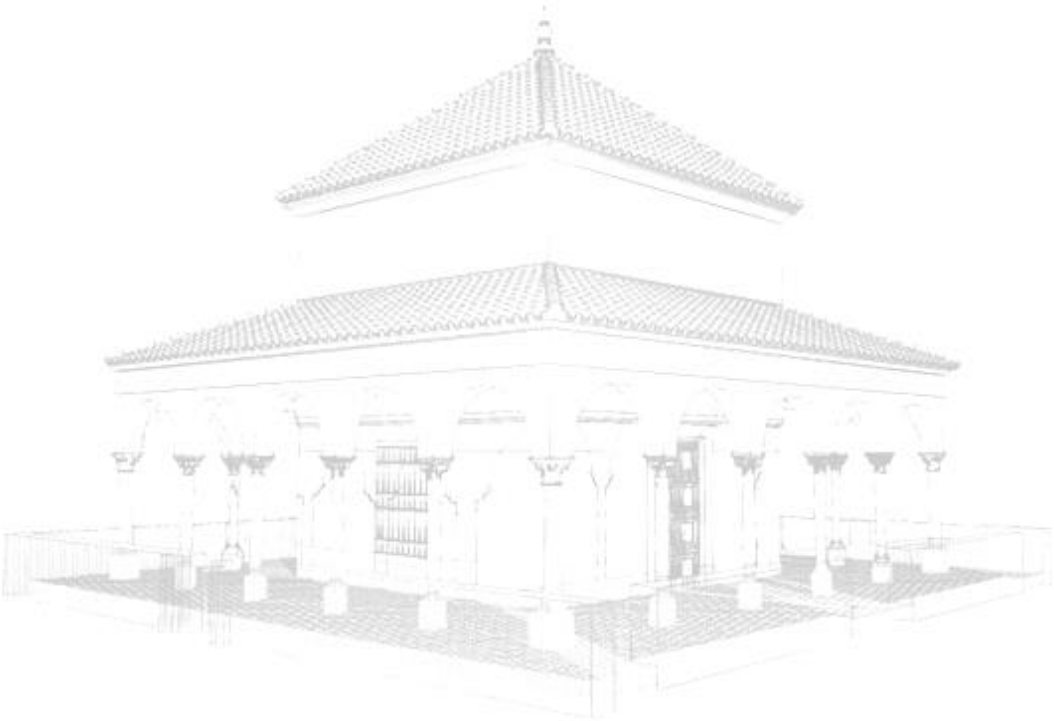
Keywords

BIM, Building Information Modeling, digitization, architectural graphic expression, photogrammetry, interoperability, inter-operationalize information, three-dimensional geometric lifting, lifting architectural drawing, archaeological survey, laser scanner virtual model, information model, orthophoto, virtual reality, photogrammetric restitution, geographic information system, GIS, asset information, SIP.

INDICE

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCIÓN

En la creciente nebulosa gráfica que nos envuelve, hoy en día es cada vez más habitual que aparezcan otros términos que complementa a los asimilados sistemas de representación asistidos por ordenador en el campo de la arquitectura e ingeniería y que han facilitado de forma formidable las operaciones de diseño en los últimos veinte años: el Diseño Asistido por Computadora (CAD), la Ingeniería Asistida (CAE) y la Fabricación Asistida por Computadora (CAM). A éstas técnicas infográficas bien implantadas se le ha incorporado en la última década los sistemas gráficos de información: el Sistema de Información Gráfica (SIG o GIS, siglas en inglés) aplicados a la representación del territorio y el Modelo de Información para la Construcción o Edificación (generalmente conocido como BIM, de los términos ingleses Building Information Modeling). Pero estos términos son el inicio de una cadena en aumento progresivo de eslabones, que incorpora siglas como NURBS, LIDAR y IFC, entre otros[1].

Los sucesivos avances en las nuevas tecnologías de la información (TIC/NTIC) han supuesto un reajuste en las técnicas de comunicación que han provocado cambios sustanciales en los quehaceres diarios de una sociedad cada vez más globalizada. Estas mismas circunstancias habría que extrapolarlas necesariamente a otras metodologías de producción que se dan en otras áreas sociales. Pero a éstos condicionantes le añadiremos además las exigencias de eficiencia que afecta en mayor medida al área de la arquitectura y a todas las ramas de la ingeniería.

Bajo este contexto habría, por tanto, replantearse las técnicas habituales de representación, más que por su poca exactitud por ser inapropiadas e ineficaces a la hora de obtener resultados productivos acordes con los tiempos actuales. Es constante el afloramiento de una nueva norma o la renovación de la normativa vigente que nos conduce al cumplimiento de nuevos requerimientos, pero que a su vez deben acoplarse entre ellas para que la eficiencia cubra todas las áreas. Esto nos deriva a que se replante nuestra metodología formativa, pues es necesario un continuo reciclaje de conocimientos y técnicas para apostar por una especialización actualizada.

La Revolución Industrial supuso en la sociedad del siglo XIX un gran conjunto de transformaciones socioeconómicas, tecnológicas y culturales, motivada por unas necesidades revindicadas en épocas anteriores, lo que motivó un aumento de la cantidad de los productos con la disminución del tiempo en la producción. Así se pudieron bajar los costos en producción y elevar la cantidad de unidades producidas bajo el mismo costo fijo. Este hecho hay que trasladarlo a la actualidad al estar inversos en un nuevo capítulo de la Revolución Tecnológica, que toma el testigo dejado por las anteriores técnicas y herramientas de

[1] Los significados de cada sigla se encuentran en el apartado de **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.. ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

representación que se impusieron con la entrada de la informática gráfica y que pudimos experimentar con la introducción de la tecnología CAD en el diseño arquitectónico e industrial desde tres décadas atrás.

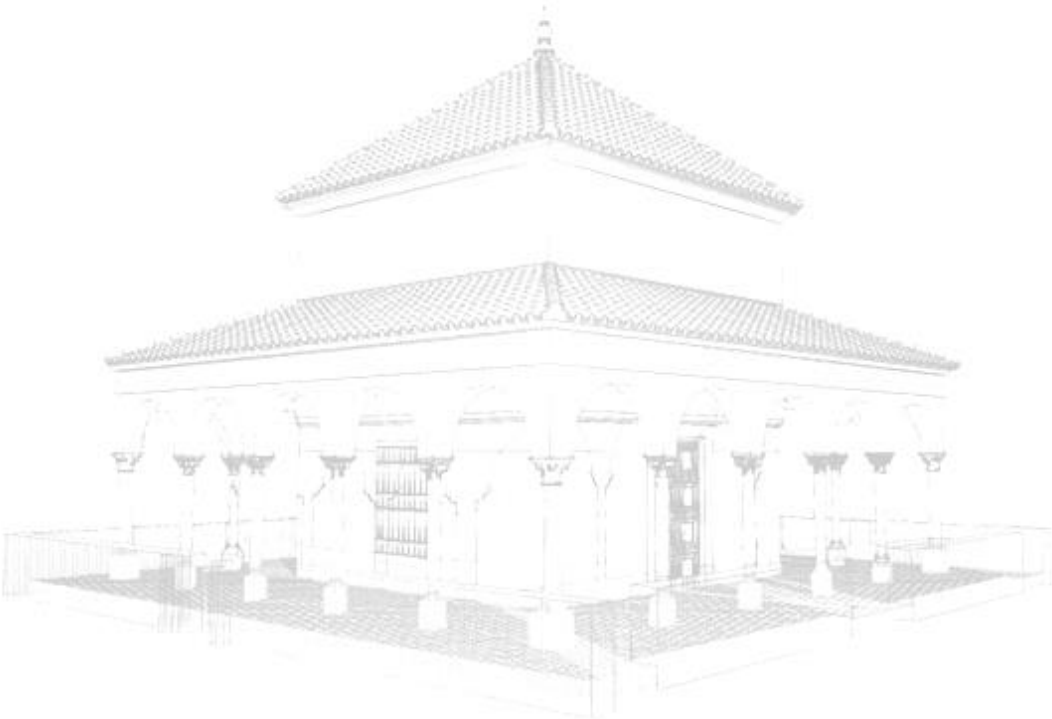
Los que hemos presenciado los cambios continuos en las técnicas gráficas de representación podemos afirmar que no es más que un constante perfeccionamiento en las herramientas y una ganancia en la precisión y el tiempo de producción de la documentación gráfica de cualquier proyecto arquitectónico y/o de ingeniería. Pero lo que sí hay que destacar como germen del nuevo cambio es que la información debe fluir de manera continua y recíproca entre todos los agentes participantes, en un trabajo multidisciplinar que cada vez requiere más especialistas.

Los modelos infográficos tridimensionales han facilitado bastante la visualización y el entendimiento de la arquitectura, con el añadido que podemos explorar el modelo interactuando virtualmente y en tiempo real. En el campo de la arquitectura se lleva más de veinte años trabajando con aplicaciones que desde un primer momento fueron pensadas para modelar elementos y sistemas constructivos (como es el caso de ArchiCAD). Ahora lo que se persigue es que se implante de manera generalizada un nuevo concepto de trabajo basado en un modelo de datos representado, enfocado a incorporar nuevos factores como la gestión y la transmisión de información, y que se ha establecido a ámbito internacional en los últimos años con el término de tecnología BIM. Surge así una nueva herramienta que nos permite más que el modelado de una pieza o conjunto de ellas, construir un hecho edificatorio como ensayo previo a la fabricación de un sistema tecnológico preciso.

En ese entorno dinámico en que nos movemos actualmente, donde se nos exige trabajos mejores coordinados, productivos y totalmente eficaces, la tecnología BIM nos puede ayudar a desenvolvernos de forma más vigorosa en un campo tecnológico de continuos avances y que requiere de equipos multidisciplinares bien sistematizados. Este hecho nos ha trasladado a una nueva posición que nos ha permitido analizar el escenario desde otras perspectivas, envolviendo la nueva situación otros espacios de la sociedad que pasaban antes desapercibidos antes nuestros ojos, como son las relaciones laborales y su adaptabilidad a un mercado multidisciplinar que necesita de una interoperabilidad eficiente. Así pues, el concepto de BIM se ha tomado como un estandarte, sobrepasado la función que se le fue encomendada inicialmente: una herramienta de modelado precisa que gestiona información gráfica y que la relaciona con los datos intrínsecos de los elementos representados.

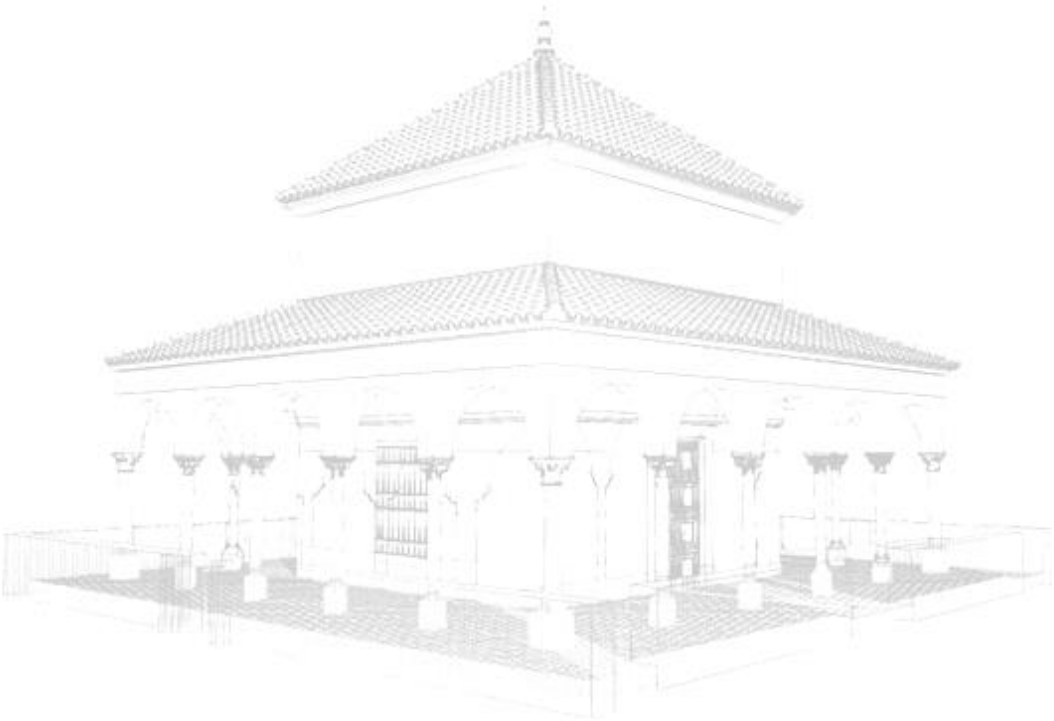
Esto nos lleva a inducir que la esencia del BIM es ser un núcleo contenedor con información gráfica y alfanumérica, donde cada disciplina participativa ha volcado sus conocimientos para adaptarse a las peculiaridades del edificio de forma coordinada con los demás agentes intervinientes. Si este mismo escenario lo trasladamos al Patrimonio en general, veremos que las necesidades serán las mismas. El arqueólogo, el arquitecto, el historiador, el ingeniero o el restaurador se

encuentran en la misma encrucijada a la hora de trasmitir sus suposiciones y ponerlas en debate antes de llegar a un asentimiento reflexivo.



Capítulo 2

JUSTIFICACIÓN



2. JUSTIFICACIÓN

Como profesional que soy en el sector de la construcción desde que finalice mis estudios de Arquitectura Técnica en 1993, y como docente universitario en el área de la expresión gráfica, con una trayectoria de diecisiete años, labores que también he compaginado con las de arquitecto desde el año 2007, siempre he estado experimentando con las nuevas tecnologías en representación gráfica, lo que han propiciado que sea consciente de las muchas inquietudes que se han ido divulgando en el campo en estos veinte años.

Mi andadura por el campo patrimonial la inicie con el máster en Arquitectura y Patrimonio Histórico (MARPH) de la Universidad de Sevilla en el año 2009, y desde un primer momento percibí que las necesidades de los profesionales en el área del patrimonio eran muy similares a las que detectaba en las obras de nueva construcción, con una destacada falta de eficacia en la transmisión de conocimientos que en muchos casos derivaban en un trabajo poco eficiente.

En la justificación de mi trabajo final del Máster en Arquitectura y Patrimonio Arquitectónico Generación de modelos de información para la gestión de una intervención de rehabilitación: La cárcel de la Real Fábrica de Tabacos de Sevilla, llegué a formular que en cualquier estudio de arquitectura o gabinete técnico es fundamental la colaboración entre arquitectos, arquitectos técnicos, interioristas e ingenieros en sus diferentes categorías, como lo es también en el patrimonio los grupos multidisciplinares englobando a arqueólogos, geógrafos, historiadores, ingenieros, restauradores, antropólogos y arquitectos.

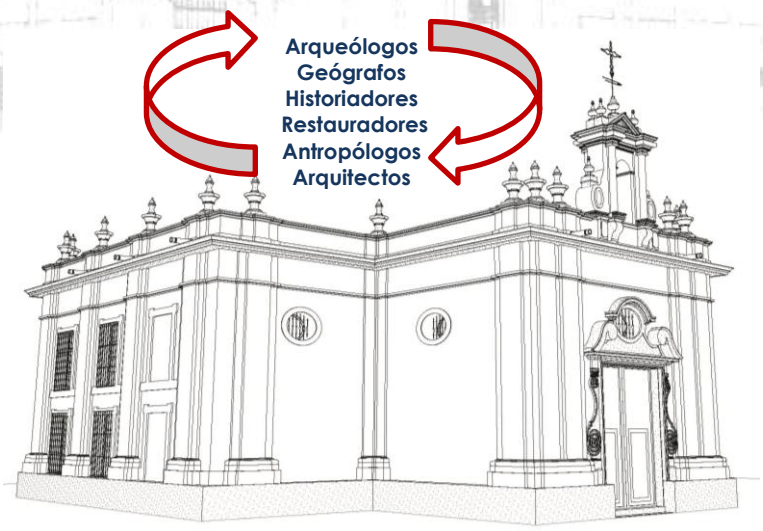


Fig. 1. Perspectiva del modelo de información de la Cárcel de la Real Fábrica de Tabacos. Fuente: elaboración propia.

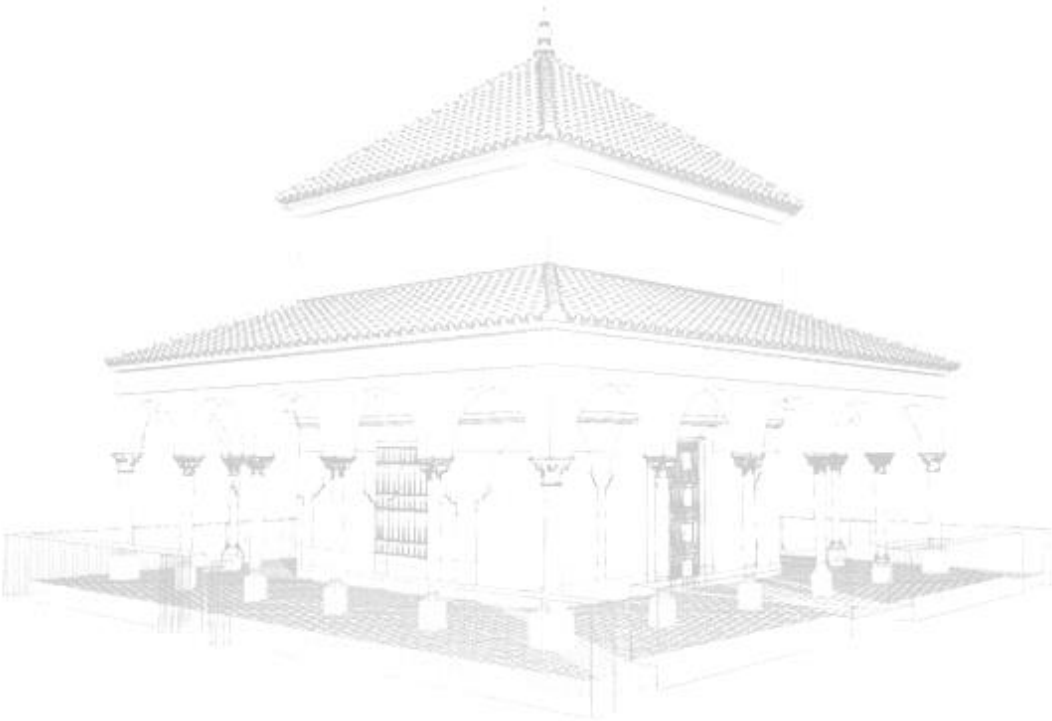
Ahora, con el desarrollo del proyecto de tesis se quiere continuar con algunas de las líneas iniciadas en la etapa anterior, con el propósito de complementar las hipótesis establecidas en el trabajo fin de máster.

La transferencia de información entre los agentes intervinientes en cualquier proyecto de intervención es primordial, pero la colaboración con las otras disciplinas no supone el eslabón final de la cadena, más cuando ésta se encuentra cerrada. Un trabajo eficaz en el patrimonio arquitectónico y arqueológico implica aleccionar una colaboración bilateral para dignificar conocimientos, como una tarea en constante renovación necesaria e irrenunciable en cualquiera de las fases en las que se encuentre el proyecto. Iniciándose en un estudio y análisis previo, pasaría en la segunda fase a un proceso de diseño que se prolongaría en la posterior etapa como acumuladora de todas las nuevas inclusiones por los hallazgos y modificaciones acaecidas en la ejecución; finalizando la intervención con la elaboración de las conclusiones al obtener los resultados finales. Si se consigue un flujo de información adecuado entre las distintas disciplinas, la colaboración se convertirá en un verdadero proceso de diseño retroactivo (NIETO JULIAN, 2011:130).

Si nos comprometemos a introducir en el campo patrimonial las últimas tecnologías en levantamiento y diseño gráfico, con unos instrumentos apropiados y contrastados para la conformación de un modelo empírico en la fase de proyecto, que además de permitir una total transparencia de los conocimientos de cada parte implicada incorpore la transferencia de los mismos, podremos conquistar nuevos ámbitos capacitivos y expandir nuestra visión a un nuevo espacio interdisciplinar. Una interdisciplinariedad que llagaremos a llamar "eficiente" si se logra mantener un flujo de información sin deslices en todo el proceso de intervención.

Capítulo 3

OBJETIVOS



3. OBJETIVOS

Las últimas técnicas gráficas y de manipulación de imagen que están a nuestro alcance hacen que nos replanteemos una metodología de trabajo distinta a la actual en el campo patrimonial. El objeto es obtener modelos geométricos de experimentación que nos sean útiles para analizar y conocer verdaderamente el proceso de actividades relacionadas con la arquitectura y la arqueología en el patrimonio. Pero es conocido también que esta generación de documentación gráfica no tiene una plataforma contrastada por todos los agentes intervinientes, que nos asegure una interoperabilidad real de los modelos tridimensionales.

Desde algunas entidades públicas ya se ha iniciado una ambiciosa labor por acortar estas debilidades, aportando un protocolo mínimo que estandarice el proceso de toma de datos en el patrimonio a través de las principales técnicas gráficas existentes en el mercado. Una de ellas es el Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico de la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía[2], donde el Centro de Documentación y Estudios ha elaborado un documento de "Recomendaciones Técnicas para la documentación geométrica de entidades patrimoniales" con el propósito de proponer un patrón normalizado para la producción de modelos vectoriales tridimensionales.

En el documento "Generación de modelos de información para la gestión de una intervención de rehabilitación: La cárcel de la Real Fábrica de Tabacos de Sevilla", desarrollado por este investigador como trabajo final del máster MARPH y que podemos considerar como uno de los primeros pasos por el área del patrimonio histórico, quiso dar respuesta a las cuestiones planteadas en el actual debate relativo al uso de las nuevas técnicas de representación gráfica del patrimonio arquitectónico: la falta de una teoría pedagógica, la necesidad de unos criterios de actuación, una metodología para el uso de los modelos virtuales y las presentaciones multimedia como herramienta de análisis, y la falta de unos principios básicos deontológicos de intervención. En este trabajo se abordó desde el área de la expresión gráfica el conocimiento del patrimonio arquitectónico con una indagación en el uso del nuevo modelo de información para la construcción o BIM[3], y con el convencimiento de que los últimos avances en el campo infográfico podían ayudarnos a un mejor entendimiento, análisis y difusión del patrimonio (NIETO JULIAN, 2010:4)[4].

Esa primera etapa ha servido como antesala a una línea de investigación perseverante que quiere poner en cuestión los modelos de información como

[2] En cumplimiento del Art. 3 de la Ley 5/2007 se crea como entidad de derecho público el Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, que establece como uno de sus fines "el análisis, estudio, desarrollo y difusión de teorías, métodos y técnicas aplicadas a la tutela del patrimonio histórico y a su protección, conservación, gestión, investigación y difusión".

[3] Nomenclatura inglesa de "Building Information Modeling", técnica de modelado que permite organizar y gestionar la información generada al realizar la maqueta virtual.

[4] Esta afirmación debe estar avalada siempre por un trabajo con rigor científico y basado en unos objetivos analíticos y de estudio.

pilar fundamental en la gestión de todos los datos que manipularán los distintos agentes intervinientes en el patrimonio arquitectónico.

El sistema BIM ha cambiado la forma del diseño gráfico en el sector de la edificación: arquitectura y las diferentes especialidades de ingeniería. Se podría discutir sobre el grado de aumento en la productividad del BIM en los proyectos de arquitectura e ingeniería, pero lo que es incuestionable que la riqueza de la información facilitada por los nuevos modelos virtuales ha puesto a los diseñadores y proyectistas en una situación completamente distinta respecto a sus decisiones sobre el diseño bidimensional generado por los programas de CAD, dando como resultado proyectos mejor coordinados y permitiendo unos flujos de trabajo de colaboración "abierta"[5] o interdisciplinar.

Con la conformación de un único modelo gráfico y de información aplicado al patrimonio arquitectónico se apuesta por la interoperabilidad de los especialistas intervinientes: arqueólogos, arquitectos, aparejadores e ingenieros de edificación, historiadores y restauradores. Cada agente necesita de unos requerimientos que varían considerablemente dependiendo de la especialidad, y es por lo que ahora, más que nunca, se hace necesario de una herramienta que permita ese flujo de trabajo de colaboración abierta. Lo que hay que promocionar y reforzar es la interdisciplinariedad. Además, al poner en experiencia el modelo de información se puede recuperar una parte del edificio de manera perceptiva para el mejor conocimiento del patrimonio cultural heredado por parte del ciudadano, pero lo más transcendental es que le facilitará al investigador-conservador una base técnica y herramienta indispensable en el trabajo científico (NIETO JULIAN, 2010:6).

Paralelamente estamos obligados a hacer uso de los últimos avances en técnicas de adquisición de datos, imprescindibles tanto para la correcta representación del patrimonio construido como para el análisis y diagnóstico en las posteriores intervenciones. La sociedad va tomando un mayor interés por los valores culturales heredados de nuestros antepasados, lo que obliga a los investigadores a ser más eficientes en las técnicas de conocimiento, conservación y protección del patrimonio. Y es aquí donde hay que enfatizar la importancia de disponer de una buena documentación, sobre todo gráfica, que esté constantemente actualizada y que no deje falsos vestigios en las intervenciones, sean actuales o venideras.

Pero a lo anterior hay que añadirle otra consideración, como es la exigencia en los últimos años por algunas entidades y organismos estatales de un trabajo eficiente y productivo en el campo de la construcción[6], que en el caso del

[5] *Diseño abierto… La próxima evolución BIM: Colaboración abierta en todas las áreas*. Artículo de Graphisoft. Julio de 2010.

[6] La nueva Estrategia Nacional de Construcción dictada por el gobierno británico en mayo 2011 ha sido un paso muy importante en la búsqueda de una eficiencia en todos los niveles. El Plan introduce la aplicación del modelado de información para la construcción o sistema BIM como requisito para la adjudicación de proyectos gubernamentales de construcción de valor superior a 5 millones de libras. La intención es exigir la introducción del BIM en todos los proyectos a desarrollar a partir de 2016.

patrimonio arquitectónico e histórico en general se traduce en emplear sistemas de conocimiento, conservación y protección más eficaces. Estos primeros pasos suponen el establecimiento de un nuevo patrón que coloca a los procesos BIM en el centro de estos objetivos y que regirá el devenir de la construcción en todas sus facetas en el arranque del siglo XXI.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, la hipótesis de trabajo va a centrarse en generar un modelo de información destinado al Patrimonio, especialmente arquitectónico y arqueológico, derivado de la aplicación de las tecnologías existentes más innovadoras para la toma de la información geométrica de los sistemas constructivos, los aspectos externos y las propiedades físicas de los materiales. La intención es volcar toda la información recabada en la fase de auscultación y levantamiento en un único modelo gráfico, que sea operativo desde las diferentes disciplinas y permita interoperacionalizar datos evitando duplicaciones superfluas y en ocasiones contradictorias. Por tanto, se constituirá un proyecto de intervención sustentado por un Modelo de Información del Edificio Histórico, que podemos llegar a denominar Proyecto HBIM (su abreviatura de los términos en inglés *Historic Building Information Modelling*).

En el transcurso de los diferentes capítulos expuestos en la tesis, corroboraremos la eficacia de las hipótesis de partida con el propósito de alcanzar unos objetivos concretos, y que especificamos a continuación:

1. Establecer una estructura operativa acorde con las características del patrimonio arquitectónico y arqueológico a investigar, que defina las fases sucesivas de actuación y se acomode a los niveles de especialización necesarios para una intervención eficaz.

2. Proponer una metodología en la toma de datos de acuerdo con las últimas tecnologías de levantamiento geométrico e implementarla con los nuevos modelos BIM, que se transforme en un proceso dinámico para la generación de documentación gráfica.

3. Generar una plataforma flexible de datos alfanuméricos y técnicos que permita resolver las conjeturas presentadas inicialmente o de las que se puedan derivar del análisis realizado desde los campos disciplinares.

4. Una gestión útil y concreta de todos los datos, generados en el modelo gráfico y de información, iniciada desde las diferentes disciplinas participativas en el proceso de intervención en el Patrimonio.

5. Concluir con la fiabilidad del modelo de información aplicándolo a casos reales de intervención en el patrimonio. Un Modelo flexible y operativo que estará disponible como documento vivo y que recogerá todas las investigaciones cometidas en sus facetas histórica, arqueológica, arquitectónica y artística. Una base fundamental para los posteriores trabajos de mantenimiento y futuras intervenciones en el edificio histórico.

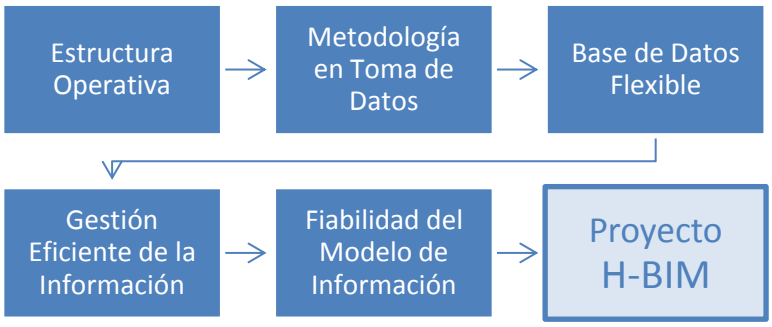
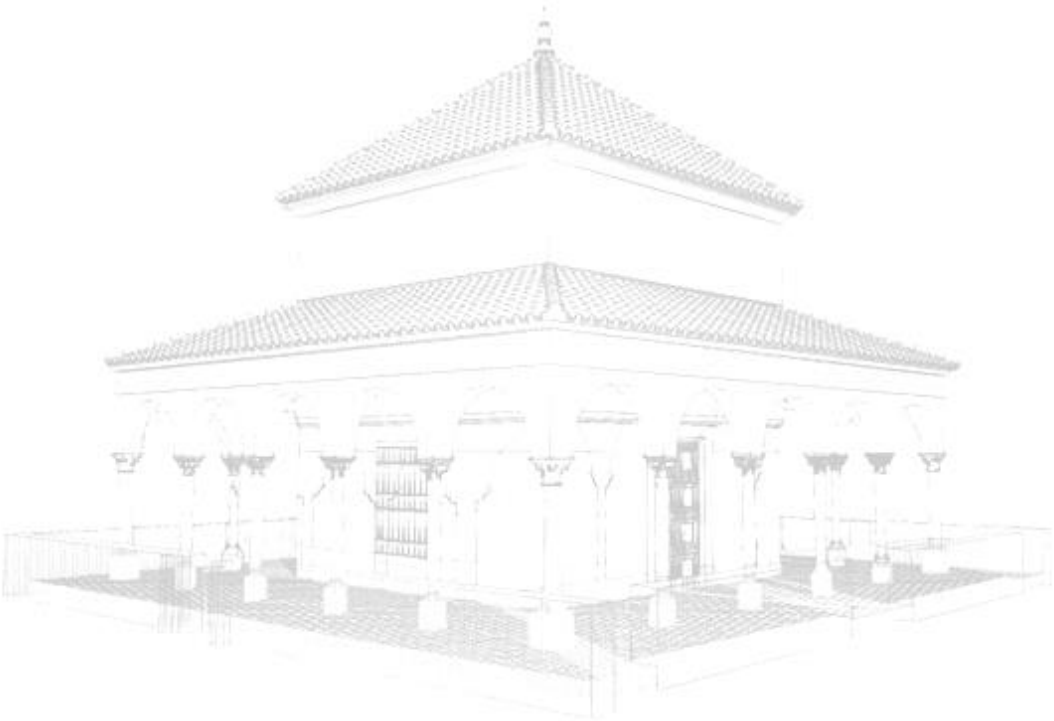


Fig. 2. Distribución de los objetivos para corroborar la eficacia de las hipótesis de partida. Fuente: elaboración propia

Capítulo 4

ESTADO DE LA CUESTIÓN



4. ESTADO DE LA CUESTIÓN

En la apertura del curso académico 2012-2013 de la Universidad Europea Miguel de Cervantes de Valladolid, el Profesor Dr. D. Francisco José García Gómez elige para la lección inaugural un argumento que traslada una "universalidad de valores, esto es, como algo que nos pertenece a todos": *Patrimonio Arquitectónico en Castilla y León: Estado de La Cuestión Vs Cuestión de Estado.* Un tema de actualidad para una apertura de curso, pero a su vez muy sensible (ya que nos hace partícipe a todos: ciudadanos y gestores públicos) que tiene como último fin acrecentar la conciencia de la sociedad en un mayor respeto por lo heredado.

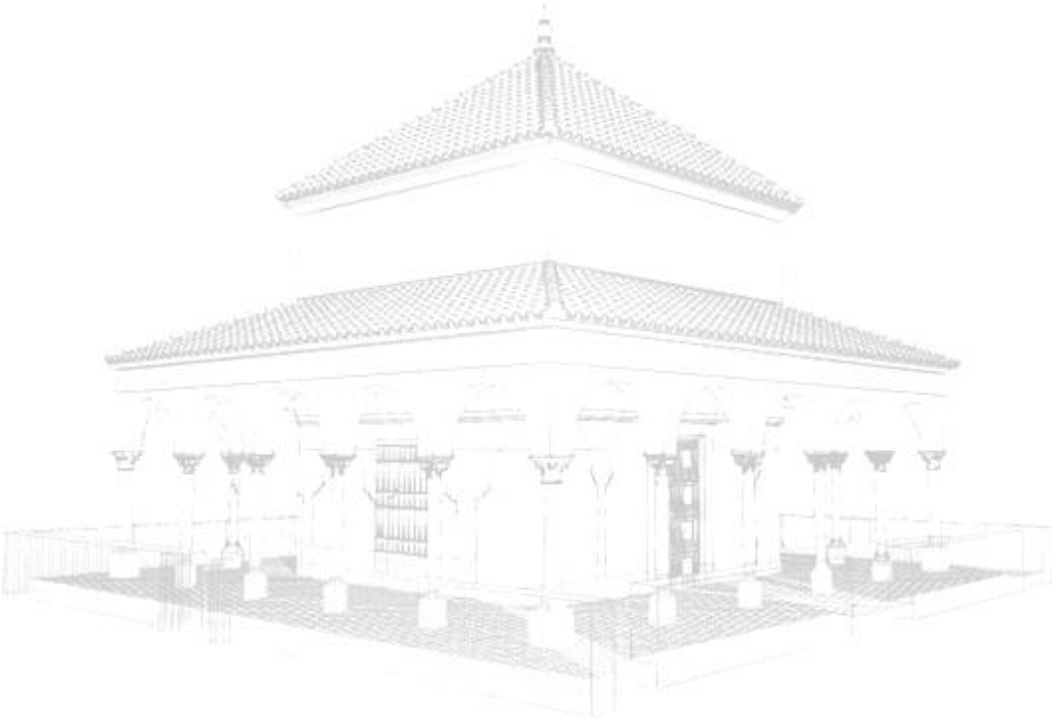
Hoy el término de Patrimonio Histórico en general y dentro del él, el arquitectónico como soporte del rasgo Artístico, tiene implementada una adjetivación de orden mayor como es la de Cultural. "Esta consideración la adquieren los bienes que además de un contenido intrínseco o utilitario han obtenido unos valores específicos que únicamente pueden ser considerados bajo una vertiente científica, artística o histórica, es decir cultural" (GARCÍA, 2012:10).

Luego nos hallamos en un marco metodológico en el que se considera el legado patrimonial recibido una seña de identidad de nuestra historia pasada, que debemos de conservar por ser los individuos de la sociedad copartícipes de los bienes recibidos, y que derivará en un enriquecimiento cultural de todas las naciones, regiones, localidades y subsidiariamente en los propios ciudadanos.

Sabemos que es muy importante guiarnos en nuestro trabajo bajo unos parámetros regidores y consensuados que nos permitan cumplir los objetivos marcados al inicio sin que suframos desviaciones quebradoras, que puedan derivar en hechos irremediables. Por ello, la intervención en las acciones se deberá realizar siempre bajo los parámetros de la gestión[7].

Siendo la gestión una responsabilidad de todos los agentes intervinientes en el patrimonio arquitectónico, somos nosotros, como técnicos especialistas en el área de la arquitectura y la construcción, los primeros que debemos mejorar la coordinación de la información divergente que nos llega por diferentes vías para que ella fluya de manera coherente en un proyecto de intervención. Y considerando que el Patrimonio es un bien no permutable, se debe buscar siempre el equilibrio entre *uso y preservación* (GARCÍA, 2012:46).

[7] La gestión, en el contexto en que nos movemos, podía quedar definida como el conjunto de acciones programadas con el objetivo de conseguir una óptima conservación de los bienes, adecuada a las exigencias sociales y económicas contemporáneas.



4.1. De las Técnicas de Restauración en el Patrimonio Arquitectónico

El valor de una civilización se mide no por lo que sabe crear, sino por lo que sabe conservar.

Edouard Herriot.

4.1.1. La restauración

La restauración en su vertiente arquitectónica representa el proceso de renovar o reconstruir un edificio y/o los elementos integrantes del mismo. Los edificios necesitan un mantenimiento continuado en el tiempo y su grado de intervención vendrá afectado por los agentes agresores externos, sean estos naturales o humanos, por la insistencia de los mismos y por el período en el cual la edificación ha estado descuidada.

Pero cuando al edificio se le agrega valores del tipo histórico, este se convierte en un hecho patrimonial, que nos obligará a añadirle otra componente, como es la de preservar lo conocido. La Carta de Venecia (1964), en su artículo 9, dicta que la finalidad de la restauración *es la de conservar y poner de relieve los valores formales e históricos del monumento y se fundamenta en el respeto a los elementos antiguos y a las partes auténticas*.

La Carta de Atenas de 1931 estableció unos principios encaminados a la conservación y restauración de los monumentos. Pero esa sensibilidad inicial se fue diversificando con el tiempo para resolver problemas cada vez más profundos, lo que motivó que se volviera a examinar los principios de la Carta con el fin de ahondar en ellos y de ampliar su operatividad en un nuevo documento. En un segundo congreso internacional de técnicos expertos en Monumentos celebrado en Venecia, se aprobó una nueva declaración. A partir de entonces es cuando se estableció la importancia de incorporar en todo proyecto de restauración *un estudio arqueológico e histórico del monumento*[8].

Unos años más tarde en Roma, con la Carta de Restauro (1972), se concreta las normas para el desarrollo del anterior manifiesto, estableciendo la forma de proceder en las restauraciones arquitectónicas. Dará instrucciones específicas en la redacción del proyecto de restauración de una obra arquitectónica al afirmar que:

> *debe estar precedida de un estudio atento del monumento, elaborado desde distintos puntos de vista (que tenga en cuenta su posición en el contexto territorial o en el tejido urbano, los aspectos tipológicos, las apariencias y cualidades formales, los sistemas y caracteres constructivos,*

[8] Carta de Venecia (1964), art. 9.

etc.) tanto con relación a la obra original, como también a los posibles añadidos y modificaciones.

De manera muy clara, la nueva Carta introduce la importancia de incorporar en el equipo de trabajo varias disciplinas, que aportarán cada una su visión particular siempre avalado por su experiencia en el campo de su especialidad.

4.1.2. Proyectar una intervención

No debemos olvidar que proyectar una intervención en un edificio con valores patrimoniales supone una nueva irrigación dentro de su transformación temporal. Qué mejor que compararlo con la estratificación geológica de cualquier prospección en el terreno, pues ambas disponen de una composición *no petrificada* que le confieren su valor histórico. Según Edward Harris: "Cada uno de los estratos arqueológicos es único en composición, tiempo y espacio: sólo se crean una vez y el hecho de intervenir en ellos provoca su destrucción"[9].

Un proyecto de restauración tendrá que delimitar las actuaciones, decidiendo lo que se desecha (que será motivo para su posterior demolición), lo que se mantiene, especificando el tratamiento de los materiales que subsisten y finalmente definir la nueva arquitectura que surgirá sobre la anterior estructura histórica, conformándose un nuevo estrato dentro de su evolución constructiva.

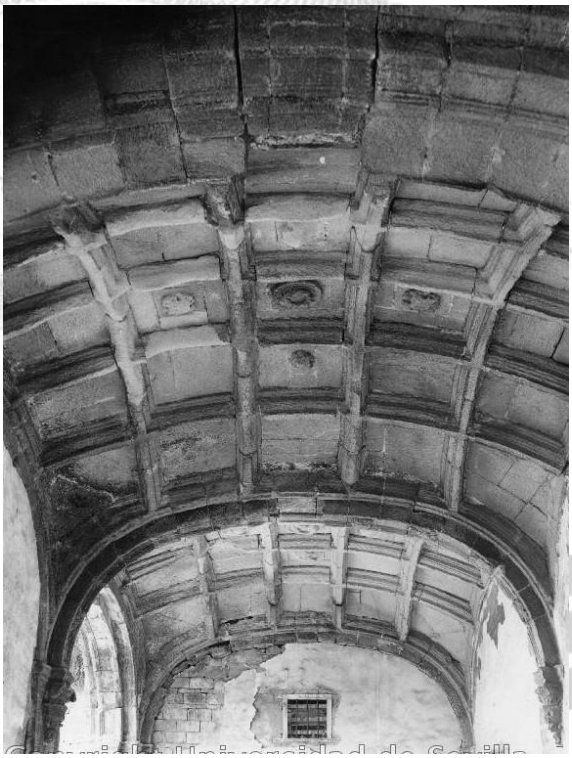


Fig. 3. Fachada del claustro del Monasterio de San Jerónimo de Buenavista (Sevilla) antes de la intervención. Fig. 4. Estado de las bóvedas de "pañuelo" en el claustro de planta baja. Fuente: Imágenes de Archivo.

[9] HARRIS, E.C., 1991, p. 73. Principios de estratigrafía arqueológica.

Es por lo que, a la hora de conformar el proyecto de restauración, debemos desarrollar una documentación gráfica interdisciplinar y transversal a la vez. No sólo nos conformaremos con representar el estado actual del edificio patrimonial y la propuesta de la nueva arquitectura con sus espacios y usos, sino en su vertiente arqueológica e histórica también será necesario primeramente reflejar la actual estratigrafía de muros, pavimentos y cubiertas, para subsiguientemente establecer en los paramentos estudiados las intervenciones propuestas y el surgimiento de una nueva lectura estratigráfica. Es aquí donde la *arqueología de la arquitectura*[10] adquiere fuerza en un estudio de paramentos, tanto en la evolución temporal de las fábricas, definiendo sistemas constructivos propios de épocas históricas, como en la lectura de todo tipo de revestimientos arquitectónicos: artesonados, azulejerías y yeserías.

Este proceder evitaría muchas de las restauraciones "destructivas" que se han realizado sin bases históricas validas, no fundadas en una actuación metodológica de análisis efectivo, al descubrirse al poco tiempo que han dejado evidencias de destrucciones no justificadas y la consiguiente pérdida de restos arqueológicos valiosísimos.

Fig. 5. Colocación de vigas para la reconstrucción del techo de la sala capitular del Monasterio de San Jerónimo de Buenavista (Sevilla).Fig. 6. Intradós de las bóvedas tabicadas, reconstruidas siguiendo el sistema tradicional de tres roscas de ladrillo. Fuente: Imágenes cedidas por el equipo ejecutor del proyecto.

4.1.3. Las fases del proyecto de intervención

A groso modo son dos las fases fundamentales en que se divide un proyecto de intervención de un edificio histórico: Una primera fase de estudios previos, que

[10] Actualmente está consolidada como una nueva disciplina. La arqueología de la arquitectura es fundamental en cualquier intervención en edificios históricos, por lo que se le ha dedicado un apartado específico dentro del estado de la cuestión.

también podíamos llamar de anteproyecto; y una posterior de redacción del proyecto (restauración o rehabilitación), donde se incluirán todos los documentos necesarios para intervenir en el patrimonio edificado: arqueológico y arquitectónico. Procedamos ahora a desglosar su contenido, donde se resaltarán algunas matizaciones que las harán diferentes en cualquier otro proyecto.

4.1.3.1. Estudios previos al proyecto

La fase de estudios previos marcará el arranque de la investigación, en la que se tendrá muy en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se realizará un levantamiento detallado de toda la geometría del modelo arquitectónico, incluidas tanto las deformaciones que han surgido y evolucionado en el tiempo hasta el mismo instante del estudio. Una representación precisa nos definirá los materiales y los aparejos de las fábricas empleados en su construcción, los elementos decorativos y singulares, como también las patologías detectadas a simple vista: fisuras, desprendimientos, humedades y desgastes (LATORRE, 2009).

- Emplear los equipos y demás medios técnicos que nos aseguren la máxima fiabilidad en la toma de medidas y una representación eficiente del modelo, teniendo muy en cuenta que es igual de importante la precisión del equipo como la experiencia en el uso y la aplicabilidad al campo concreto del patrimonio edificado.

- La lectura directa de los muros desnudos y de aquellos que han sido despojados de sus revestimientos por mediación de un ciclo de catas paramentares, que permitirá una interpretación evolutiva directa y actualizada, y complementara a las indagaciones en otros documentos históricos recibidos de archivos.

- Clasificación y catalogación de los elementos arquitectónicos y revestimientos decorativos que deben ser restaurados: zócalos de azulejos, frisos de yesos, molduras en impostas y remates de huecos, etc.

- Finalmente, en la primera fase de análisis y estudios previos se conformará un anteproyecto, que se deberá completar en la siguiente fase de proyecto, e incluso en la posterior ejecución de las obras. Pero el proyecto no será verdaderamente eficaz sino se procede a una rica y buena estructuración de toda la información tomada desde los inicios.

Llegados a este punto, diríamos que se tendría la maqueta virtual ya elaborada, con la información recabada hasta la fecha, y que será la base para las posteriores indagaciones que vallan surgiendo y complementándose en el proyecto de restauración.

4.1.3.2. Fase de redacción del proyecto

Para la posterior redacción del proyecto de rehabilitación arquitectónica hay que tomar en consideración los anteriores datos y completarlos con un análisis preciso para cada una de las disciplinas, y que se vallan adaptando en las sucesivas etapas de la intervención.

Justamente, el investigador Latorre propone un modelo de intervención estratigráfico que definirá y evaluará el proyecto de restauración (LATORRE, 2010:46). Para ello, emplea unos ítems esenciales agrupados por etapas:

a. En el *desmontaje* y/o eliminación de revestimientos:

- Definición de los materiales y depósitos de las unidades estratigráficas que se perturbarán en la intervención (UEM). Aunque lo normal es que se sigan los contornos de los mismos elementos constructivos (UC) que intervienen en la arquitectura, por lo cual hay que evitar en lo posible que se corten o destruyan.
- Delimitar contornos de los materiales incluidos en las superficies de cortes.
- Establecer las relaciones de antero-posterioridad y contemporaneidad de los materiales afectados.

b. En la etapa de *conservación*:

- Definir la incidencia de los procedimientos de conservación y restauración de las variables técnico-constructivas y morfológicas de los materiales y elementos constructivos.
- Proceder a una anastilosis veraz en la recolocación de piezas o unidades constructivas completas.

c. Para la *superposición* o reposición de materiales:

- Definir y evaluar las superficies de corte o borde de los depósitos antiguos que quedarán ocultos tras la aplicación de los nuevos revestimientos: rejuntados, revocos, alicatados, tratamientos hidrófugos, etc.
- Definir y proyectar las variables técnico-constructivas y morfológicas de los nuevos depósitos creados tras la intervención en relación con los depósitos antiguos.
- Los encuentros entre los nuevos depósitos y los conservados quedarán bien identificados, no perdiéndose las relaciones de antero posterioridad.
- Quedarán bien definidas las superficies de borde de la nueva arquitectura.

En la auscultación del edificio juega un papel muy importante tener bien delimitadas las zonas patológicas evidentes (como humedades, desplomes y desprendimientos en los muros y forjados), e incluso profundizar algo más en la

averiguación de las causas que han motivado las mismas. Éstas son determinantes en la estructuración de la restauración al influir bastante en la decisión de prioridades en la sucesión de trabajos de intervención.

En el proyecto de restauración hay que definir bien los procesos de reposición de los elementos que cubrían los paramentos azulejería, aplacados, etc.; como las composiciones de las losas empleadas en la pavimentación. Es decir, hay que establecer una intervención sistemática para diferenciar las reparaciones, sustituciones y nuevas incorporaciones.

Creemos que la maqueta virtual, que denominaremos modelo de información, jugará un papel fundamental en esta discriminación sistémica de los materiales y técnicas constructivas. Un sistema representativo de un edificio existente debe incluir los datos dimensionales "geométricos", las relaciones entre elementos, sus características físicas y las afecciones provocadas por agentes externos: etéreos, humanos y mecánicos.

Fig. 7. a) Modelo del sector noroeste del Monasterio. El deambulatorio superior, tras la fachada, ha perdido las bóvedas que poseía el claustro. b) Bóvedas de "pañuelo" que componen el claustro de la planta baja.

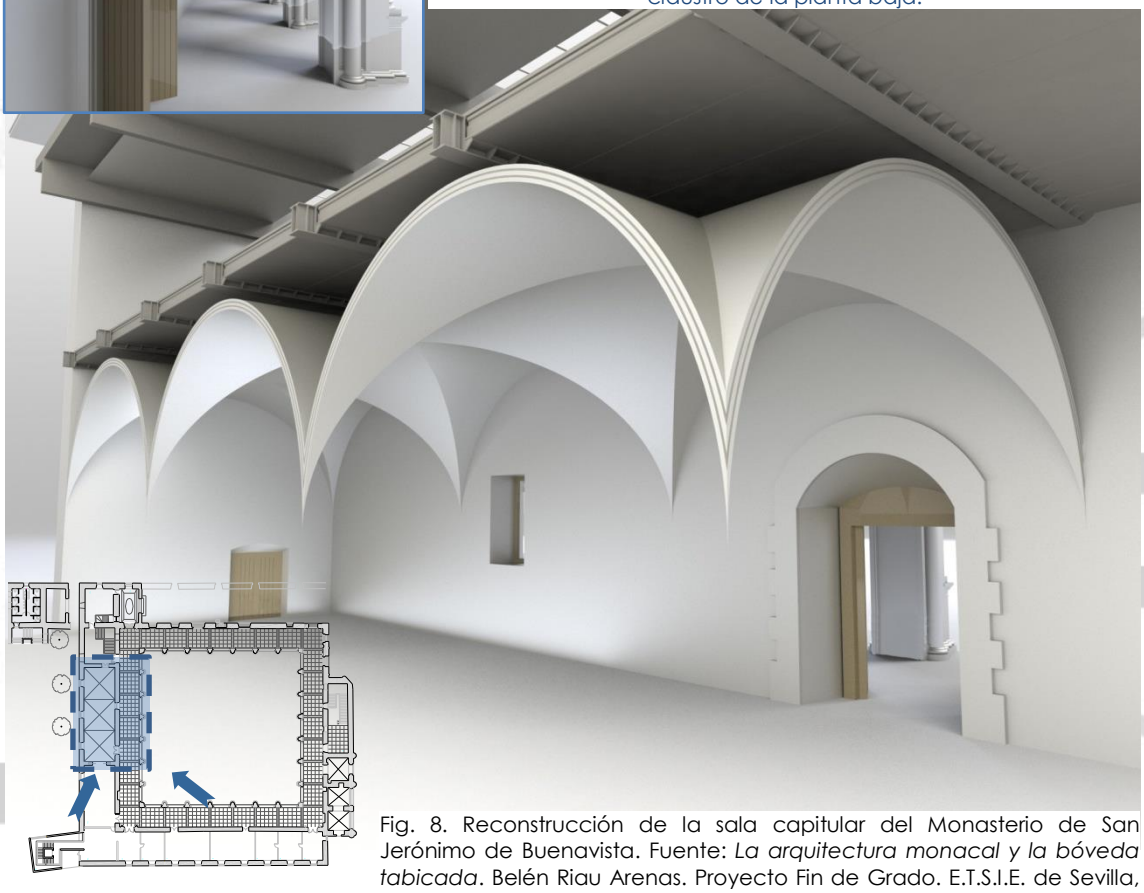


Fig. 8. Reconstrucción de la sala capitular del Monasterio de San Jerónimo de Buenavista. Fuente: *La arquitectura monacal y la bóveda tabicada*. Belén Riau Arenas. Proyecto Fin de Grado. E.T.S.I.E. de Sevilla, 2012.

4.1.4. La definición del proyecto de restauración

A la hora de definir un proyecto de restauración no hay que olvidar que aunque un edificio histórico vaya a sufrir un proceso de transformación no tiene que perder su valor arquitectónico y documental, este último inherente a la lectura estratigráfica de sus paramentos. Hay que utilizar una metodología de registro para no perder datos valiosos, obligando a todos los especialistas intervinientes a una responsabilidad y coordinación exhaustiva, debatiendo las posibles alternativas y justificando la solución que finalmente se adopte, más cuando la elección siempre supondrá una pérdida de la estratigrafía conservada hasta nuestros días (LATORRE, 2002:170-174).

Pero el patrimonio arquitectónico se mueve a la vez en dos ejidos delimitados pero inseparables, como es el espacio y el tiempo. Tanto el espacio generado por la arquitectura transformada llegada hasta nuestros días, como el factor tiempo materializado en la propia estratigrafía efectiva son exclusivos de ésta, y no puede analizarse una sin la otra. La restauración no debería priorizar sobre uno de ellos, marginando el otro, ni analizarlos por separado. A lo comentado, el arquitecto Pablo Latorre nos invita a que abramos un debate sobre el concepto de *autenticidad*[11], aunque en su reflexión sobre la conservación del tiempo en la restauración, llega a afirmar finalmente que:

Tan inútil es pretender la congelación en el tiempo de una arquitectura en un instante concreto, tratando de impedir cualquier cambio o degradación de su configuración y convirtiéndola en un "falso arquitectónico", como creerse que es posible recuperar el espacio "original" de una arquitectura histórica que quizás nunca existió y de la que nunca tendremos datos suficientes para garantizar una "autentica" restauración, ya que ésta carecerá siempre de su valor temporal "original" y será un "falso histórico" o un "pastiche.

Una solución para problemas patológicos importantes pasaría por afectar lo menos posible a la estratigrafía conservada, pero una solución a media por no provocar destrucciones masivas podría motivar males mayores más adelante al agravarse esas patologías detectadas en complicaciones y perdidas irremediables. El patrimonio arquitectónico se nos presenta hoy vivo, con sus alteraciones prolongadas en el tiempo, y como tal así lo interpretamos y lo entendemos.

Entonces, para encontrar la propuesta de intervención acertada no cabe más salida que trabajar en un único modelo de "información" que nos proporcione una respuesta a las necesidades de la arquitectura y estratigrafía nuevamente transformada, garantizando la pervivencia y la viabilidad en el tiempo del monumento mediante su actualización y resignación como documento y como arquitectura (AZKARATE et al., 2001).

[11] (LATORRE, 2010:47).

4.1.5. Las obras de restauración arquitectónica

La Ley de Patrimonio Histórico de Andalucía[12], en su artículo 22 se especifica lo siguiente:

Los Proyectos de Conservación se ajustarán al contenido que reglamentariamente se determine, incluyendo, como mínimo la identificación del bien, la diagnosis de su estado, la propuesta de actuación, desde el punto de vista teórico, técnico y económico, y la descripción de la metodología a utilizar.

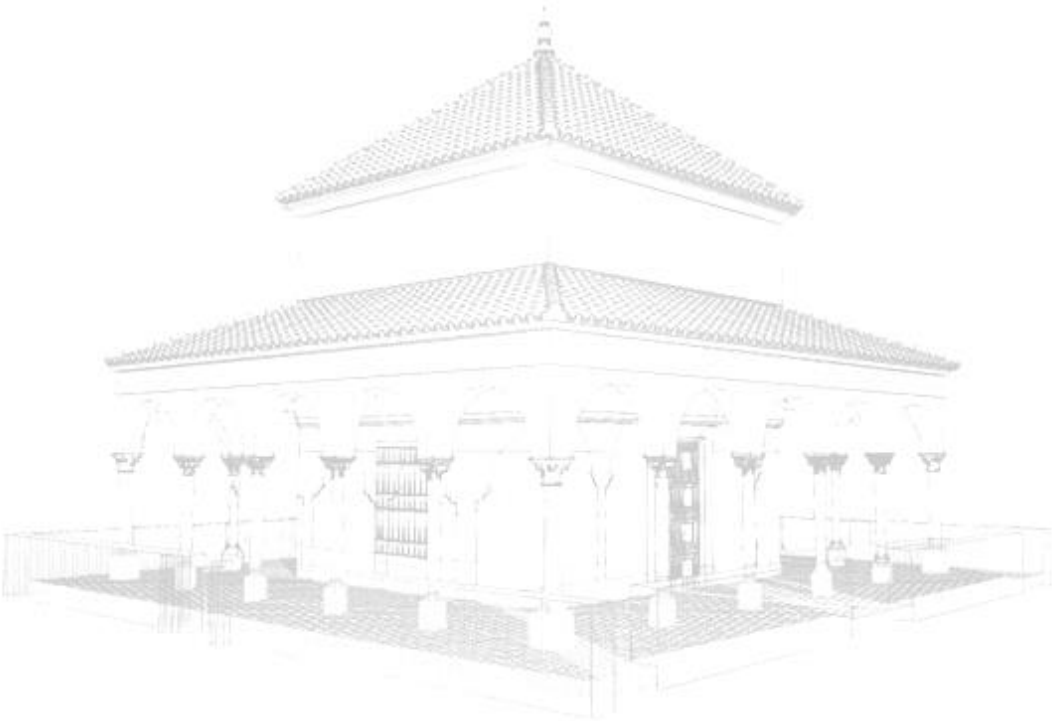
Es muy frecuente que en el transcurrir de las obras, las modificaciones adoptadas que alteran las prescripciones iniciales del proyecto no queden documentadas. Es lógico y frecuente que en una restauración de un edificio de amplia evolución histórica, las hipótesis de partida hayan sufrido bastantes variaciones. Como también es difícil prever, en una primera observación del edificio, cómo se encuentra realmente el estado de la fábrica de un muro revestido, incluso cuando se han realizado catas de prospección. Y es una aseveración consumada que los proyectos de restauración se convierten en un avance de intenciones que muy poco tienen que ver con su resultado final. Reflexión que comparte cualquier profesional interviniente en la ejecución de los trabajos, aunque no justifica que de los diversos responsables en cada especialidad broten algunas ausencias de anotaciones e informes posteriores a las obras. Es en esta etapa cuando hay que aportar datos de la evolución de las obras, con un reportaje fotográfico, croquis de toma de datos, detalles y documentos gráficos que completará a la memoria y estudios previos al proyecto de restauración.

La intervención no es única y perecedera, sino será necesario y obligatorio volver a actuar sobre el patrimonio construido, como una constante que nos permita mantener vivo el bien histórico heredado de nuestros antecesores. Por lo que es indispensable disponer de unos testimonios documentados de las actuaciones anteriores para en una posterior intervención se pueda continuar esa labor científica de estudio y análisis desarrollada por cada agente interviniente, sea arqueólogo, historiador, restaurador o arquitecto.

[12] Ley del 3 de julio de 1991, número 1/91 del Parlamento de Andalucía, sobre el Patrimonio Histórico de Andalucía. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, número 59, del 13 de julio de 1991.

Fig. 9. Proyecto de Intervención en el Convento de Santo Domingo de Jerez de La Frontera (1999 - 2012). a) Detalle del empotramiento de Bóvedas Claustrales. b) Losa de hormigón armado sobre Bóvedas Claustrales
Fuente: Fotografías Cedidas por Juan Fernando Bernal González, arquitecto.

La historiadora Concha Fontenla (1998) viene a plantear la reciprocidad de soluciones tomadas en actuaciones de restauración, muy condicionadas por las técnicas y directrices del momento, afirmando que sería obligatorio una documentación actualizada en cada etapa "para que puedan resolver adecuadamente problemas planteados por soluciones que, consideradas como las más idóneas en el momento de la intervención, no han respondido con el paso de los años o han provocado patologías imprevisibles en el edificio". Es por ello fundamental que las sistemáticas utilizadas queden bien registradas en los proyectos de intervención.



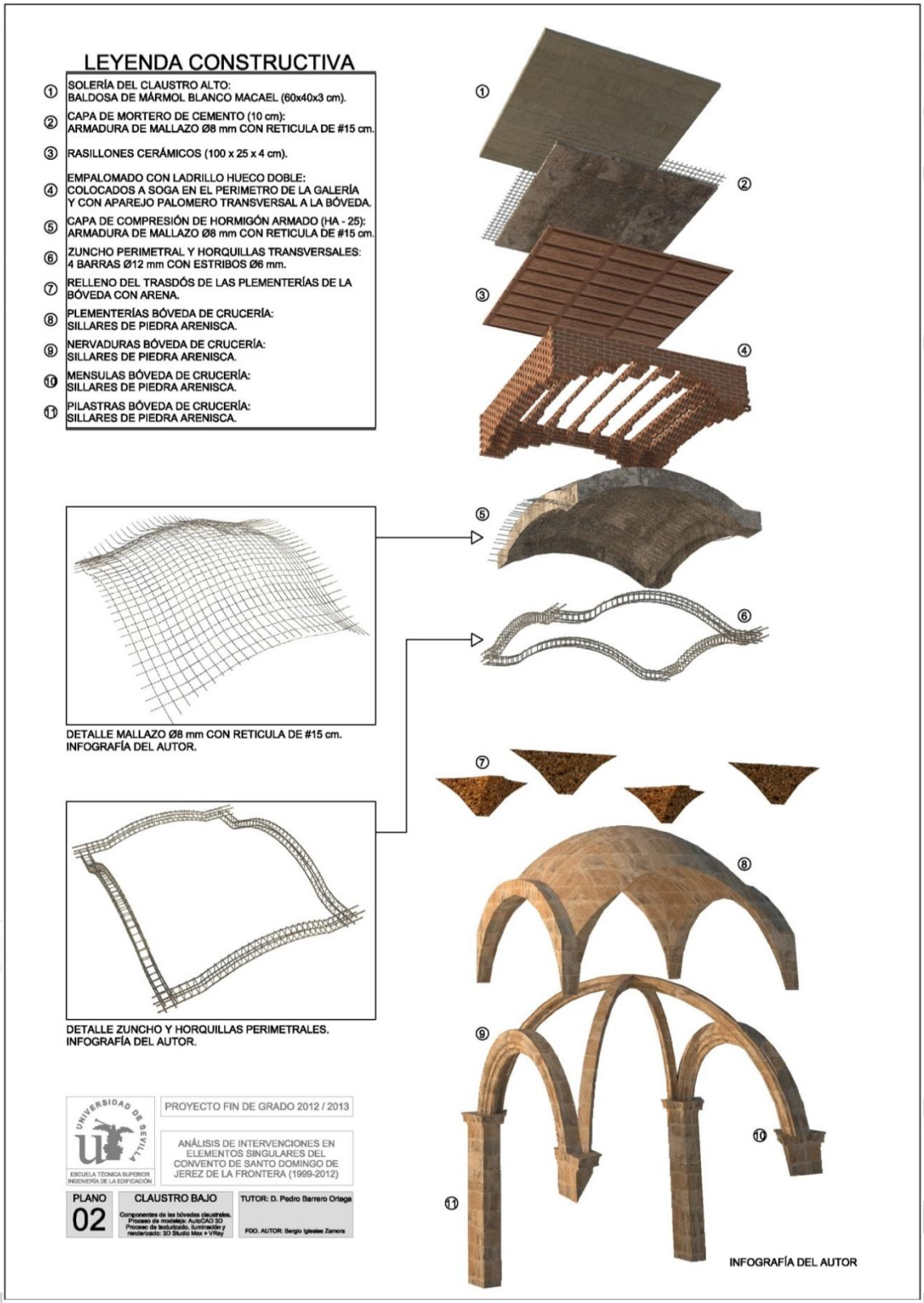


Fig. 10. Despiece del sistema constructivo de la bóveda de crucería. *Análisis de intervenciones en elementos singulares del Convento de Santo Domingo de Jerez de La Frontera* (1999 - 2012). Fuente: Iglesias Zamora Sergio. Proyecto Fin de Grado. Profesor Tutor: Pedro Barrero Ortega. E.T.S.I.E. de Sevilla, 2013.

4.1.6. La interdisciplinariedad en el patrimonio arquitectónico

En el campo patrimonial, especialmente con la irrupción de la arqueología en la restauración del edificio histórico, han sido constantes los debates surgidos en los que se han enfrentado las distintas disciplinas para establecer la supremacía de cada profesional interviniente[13]. Hasta hace una década ha existido una lucha competencial, principalmente entre historiadores del arte y arqueólogos, y entre arquitectos y arqueólogos. Esto se ha ido amoldando hasta nuestros días por una delegación de responsabilidades, que en el caso del arquitecto se inició con la entrega al arqueólogo de los estudios previos a la restauración (GONZÁLEZ 1985, b: 9-11). Pero diríamos que ha sido un proceso lento, que todavía hoy nos llega sin madurar al cien por cien; hace diez años era impensable que el colectivo de arquitectos asumiera la pretensión arqueológica de participar en el proceso de obra y en la toma de decisiones (TABALES, 2002: 238).

De uno de esas conferencias, celebrado en Florencia en el año1988, sobre Arqueología y Restauración, Latorre (1988:157-194) plantea la necesidad de intervenir interdisciplinarmente a fondo previamente a una restauración, siendo esencial la unión entre historiadores del arte, arqueólogos y arquitectos pues hasta entonces, cada uno había incidido sobre los bienes inmuebles de manera separada sin problemas de ningún tipo; pero la confluencia de varias actividades en una restauración ha derivado en problemas competenciales, que en muchos casos ha desembocado en graves discordancias. La solución propuesta es una formación y colaboración estrecha.

El profesor Edgar Morin, cuando nos habla sobre la interdisciplinariedad, realiza un análisis de *la disciplina* como categoría organizacional y base transmisora del conocimiento científico. Llega a enunciar que: "la historia de las ciencias no es solamente la de la constitución y de la proliferación de las disciplinas sino también aquella de la ruptura de las fronteras disciplinarias, de la usurpación de un problema de una disciplina sobre otra, de circulación de conceptos, de formación de disciplinas híbridas que van a terminar por atomizarse,…; dicho de otro modo, si la historia oficial de la ciencia es la de la disciplinariedad, otra historia ligada e inseparable es la de la inter-trans-polidisciplinariedad"[14].

Esta importancia de la transmisión de conocimientos afecta por igual a todos los campos del saber. Por ello, para emprender un buen trabajo de intervención en el patrimonio, hay que configurar un proyecto efectivo que no deje marginada ninguna de las disciplinas participativas respecto al global multidisciplinar. Según

[13] A finales de los años setenta y principios de los ochenta germinaron muchos artículos de frecuentes debates y congresos entorno a la intervención arqueológica en la restauración de edificios, sobre todo en Italia, destacando: (CARANDINI 1977 y 1988),(FRANCOVICH 1977 y 1988), (BROGIOLO 1988), (TAGLIABUE 1993), (CABALLERO 1984), (LÓPEZ 1984) y (GONZÁLEZ 1985).

[14] MORIN, Edgar. Sobre la interdisciplinariedad. *Publicaciones Icesi*, 2010, nº 62, p.9-15.

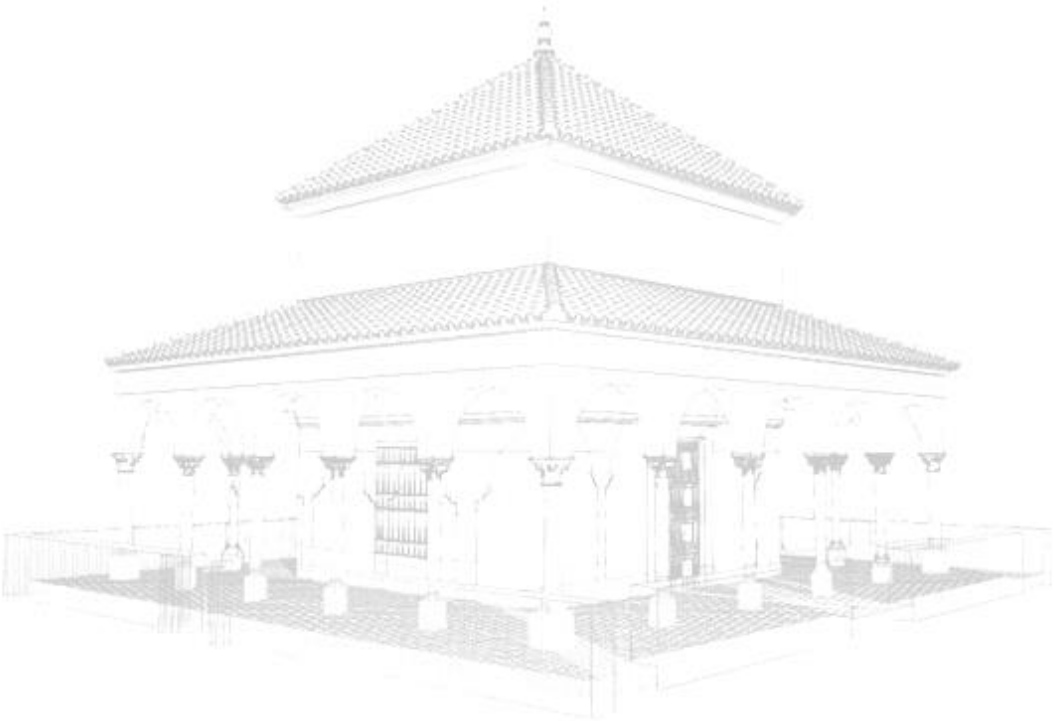
el arquitecto Antoni González[15] (1986:155) "la doble consideración del monumento como documento histórico y como objeto arquitectónico da pie a una colaboración interdisciplinar basada en el respeto mutuo". Este mismo autor llega a reflexionar sobre la importancia del *conocimiento* en el proyecto de intervención, poniendo hincapié en la investigación histórica y el análisis físico-constructivo del monumento como aspectos decisivos en una lectura previa. La arqueología de la arquitectura, junto a otras especialidades que les asisten (antropología, dendrocronología, paleontología, paleografía, etc.), es imprescindible actualmente en las decisiones proyectuales debido a su eficacia en el conocimiento del patrimonio. Como también las aportaciones de los historiadores son necesarias en una lectura histórica del edificio antes de definir una restauración. Pero este factor histórico debe coexistir con el componente estructural en una fase posterior, que habitualmente recae en un colaborador especialista. Y para garantizar la eficacia de la intervención material debe existir una *interrelación* con el resto de los conocimientos, siempre bajo el emblema de un respeto metodológico. (GONZÁLEZ, 2003:14-20).

La arquitecta Rita Tagliabue, desde la Universidad de Milán, propone un conjunto de soluciones al verdadero problema de fondo de las intervenciones en el patrimonio edificado: las relaciones entre el investigador y el diseñador (arqueólogo-arquitecto), conocido actualmente como interdisciplinariedad. El estudio aboga por una investigación arqueológica completa del edificio antes de iniciar la rehabilitación arquitectónica, y la necesidad primordial de una formación de los arquitectos en los estudios paramentales bajo las premisas del método arqueológico (TAGLIABUE, 1993).

Por otro lado, es primordial que la recopilación de toda información, tanto de documentos históricos como del registro de la arquitectura presente en sus facetas constructiva, formal y funcional, se haga con la mayor objetividad desde cada campo disciplinario participativo. Aunque, para que la decisión última de intervención se apoye en un diagnóstico coherente y veraz, habría que operar interdisciplinarmente.

Es por ello por lo que el proyecto debe estar apoyado en un modelo interoperable, flexible y único para que el especialista e investigador pueda incorporar personalmente sus datos y contrastarlos con los introducidos por las otras disciplinas. Este modelo con información gráfica y no gráfica será el gran soporte al equipo interdisciplinar, facilitando una transmisión irrefutable de datos.

[15] Antoni GONZÁLEZ MORENO-NAVARRO ha dirigido, desde el año 1973, más de un centenar de proyectos y obras de restauración como Jefe del Servicio de Patrimonio Arquitectónico Local de la Diputación de Barcelona.



4.2. De la Arqueología de la Arquitectura

La Arqueología de la Arquitectura tiene como finalidad: Conocer (finalidad científica), Conservar (finalidad arquitectónica, restauradora) y Transmitir (finalidad comunicativa) los valores patrimoniales del edificio histórico, como documento y como signo o símbolo, que se expresan a través de una forma y una estructura materiales. (CABALLERO, 2010:104).

4.2.1. La conservación del patrimonio arquitectónico

Cuando viajamos por los cascos históricos de mucha de nuestras ciudades y contemplamos la arquitectura del pasado, parece que ésta nos envuelve y nos traslada a otra época transmitiéndonos una sensación relajante y placentera, que se acrecienta cuando los monumentos están más asestados. Aunque esta agitación se da también cuando tocamos antigüedades u objetos que han antecedido a otros más modernos o actuales (pongamos por ejemplo un teléfono de principios del siglo XX y lo comparamos con uno actual, de "última generación"). "En realidad esta evocación responde a un sentimiento muy común de la imagen que ofrecen los monumentos históricos, las ruinas y los objetos antiguos que autentican la existencia y la actividad de las sociedades que nos precedieron"(LATORRE, 2010:26).

Si se analiza el transcurrir de la intervención en el patrimonio arquitectónico en la historia más reciente, es evidente que no ha existido un interés en estudiar su materialidad más característica, esa degradación que retiene el paso del tiempo y le otorga, además de sus valores arquitectónicos, una importancia como documento histórico. En este debate deontológico-conservacionista que sobrepasa ya las tres décadas, han sido muchos los que achacan la problemática "de lo que hay que conservar y proteger" a que la dirección de la restauración ha recaído máximamente en un arquitecto, el cual no ha considerado las transformaciones funcionales como importantes si no le han añadido un cierto valor arquitectónico y de embellecimiento a la edificación, cuando éstas si son fundamentales como testimonio de la evolución en las costumbres y relaciones sociales de las sucesivas civilizaciones.

Pero también hay que reconocer que un edificio histórico, como hecho constructivo que es, no puede perder su esencia arquitectónica, no siendo lógica una conservación drástica de los materiales altamente deteriorados que impliquen una intervención poco eficiente y que nos comporte nuevos inconvenientes en la conservación del patrimonio histórico. O que simplemente el desvestir de muros o pavimentos, por reflejar una transformación relevante en la historia del edificio, supongan por otro lado una gran pérdida en su conjunto arquitectónico.

A la hora de estudiar un edificio histórico, según Andrea Carandini[16]:

"es respetable tomar en consideración un monumento desde el único punto de vista de su decoración arquitectónica…de las técnicas constructivas…; otro punto de vista es el estratigráfico, que identifica cada una de las fases de la construcción, ordenándolas en una secuencia temporal…finalmente existe la óptica que investiga el esqueleto de un monumento, su lógica estructural y su estática. Solamente la toma en consideración conjunta de todos estos puntos de vista,…permite acercarse a la verdad de un monumento".

Dicha afirmación vienen a otorgarle al edificio histórico dos características esenciales: la temporal, y la arquitectónica. En cuanto a esta segunda, las transformaciones acaecidas en la arquitectura del edificio histórico provocan un estadio diferente donde los materiales prevalecientes de las diversas etapas constructivas se constituyen en el nuevo hecho arquitectónico, integrándose en la remozada estructura. Pero será la última transformación del edificio la que nos determine la funcionalidad constructiva actual del elemento arquitectónico, aunque procedan de etapas históricas distintas. Ahora, cada material interviniente dispondrá de una singularidad dual, arquitectónica e histórica, que se traduce en una descomposición simultánea de elementos constructivos (UC) y depósitos coetáneos de materiales, también denominadas unidades estratigráficas murarias (UEM).

Aunque esta sistematización ha dificultado considerablemente muchas labores de restauración en el patrimonio edificado. Es el caso de un proyecto "de intervención" donde se ha menospreciado materiales por su escasa contribución en la unidad arquitectónica-constructiva; pero en cambio, sí representan una gran influencia histórica por su importancia estratigráfica, ya que permiten que se establezca una relación temporal entre diferentes fases. Hecho que también se nos presenta de modo contrapuesto, cuando el gran valor arquitectónico se contrapone con la escasa importancia estratigráfica (LATORRE, 2010: 42).

[16]CARANDINI, A. (1991): Historias en la Tierra. Manual de excavación arqueológica (Barcelona, 1997).

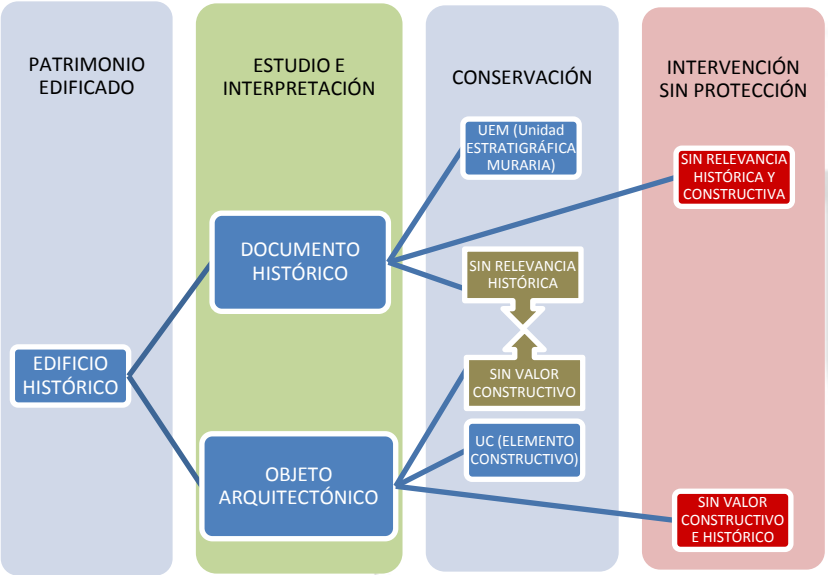


Fig. 11. Distribución esquemática por etapas de una intervención en el patrimonio edificado, ubicando las unidades fundamentales de un edificio histórico (UEM y UC) en un estadio de conservación.

Han sido muchos los profesionales en restauración, y que engloban a diferentes disciplinas (arqueólogos, arquitectos, aparejadores, historiadores y restauradores), los que han apostado por establecer una nueva metodología para intervenir en el patrimonio arquitectónico, desembocando en lo que actualmente se conoce como *Arqueología de la Arquitectura*. Ellos son conscientes de la necesidad de que el edificio histórico debe renovarse, pero no se puede decidir sobre lo que verdaderamente tiene valor sin apurar todos los mecanismos para analizar el ente histórico, en un pre-estado de conservación, antes de desechar los materiales que no tienen importancia tanto histórica como arquitectónicamente.

Por tanto, hay que disponer de un protocolo de intervención que nos permita el trabajo multidisciplinar, facilitando el intercambio de conocimientos, y es aquí donde la nueva disciplina introduce un valiosísimo sistema de análisis de los depósitos que se han ido superponiendo en muros y suelos para establecer las relaciones temporales más veraces antes de decidir sobre lo conservable o desechable.

No obstante, es ineludible que desde los primeros estudios y análisis formales y funcionales del patrimonio edificado, los trabajos se deben emprender desde dos enfoques (LATORRE, 1995: 17):

el "sincrónico" que corresponde al edificio en su configuración actual, tal y como lo recibimos del pasado, entendido como una estructura arquitectónica con sus características fundamentales, constructivas y formales específicas y unas patológicas concretas definidas en su última transformación; y el enfoque "diacrónico" que lo estudiará como objeto estratificado, consecuencia de un complejo proceso histórico de transformación en el tiempo.

4.2.2. La Arqueología de la Arquitectura. Su trayectoria

En el siglo XIX surgió, por iniciativa de un grupo de artistas y asesorados por historiadores, la primera necesidad de estudiar los edificios monumentales, a los que se les encomendó la restauración o rehabilitación de los mismos. Aunque no va a ser hasta iniciados los años ochenta del siglo XX, con una continuada especialización de métodos y sistemas de investigación de edificios históricos, cuando una arqueología bien desarrollada cambie el sentido del tradicional concepto de la restauración arquitectónica hasta llegar a ser uno de sus pilares esenciales.

La historia de la restauración arquitectónica en los comienzos del siglo XX es una asimilación de principios emanados del siglo anterior. La *Carta de Atenas* sobre Restauración (1931) va a ser la que asentará los principios de Boito[17], que ya se venían adoptando desde principios de siglo en los países más occidentales de Europa. En cambio, la Arqueología estaba envuelta de constantes inquietudes que motivaron su perfeccionamiento, cambiando de rumbo respecto a la restauración tradicional. Esto motivó un desacuerdo teórico entre los objetivos del campo arquitectónico y los nuevos intereses de la arqueología.

La arqueología ya no veía en la arquitectura una entidad de interés científico, por lo que la investigación de la evolución de los edificios se disolvió del ámbito de la arqueología científica, quedándose en una simple deducción por analogía. El estudio de la arquitectura quedaría dentro de la Historia del Arte (encasillándose posteriormente en Arqueología Postclásica o Medieval), un campo tradicionalmente menos analítico debido a la confluencia de diferentes fuentes de estudio. Pero no sería hasta iniciada la década de los sesenta cuando se empezó a visualizar un nuevo acercamiento científico entre la rehabilitación arquitectónica y el nuevo razonamiento arqueológico, motivado principalmente por dos hechos sucedidos en Europa: la expansión de la Arqueología de Urgencia en las ciudades y el desarrollo de la Arqueología Medieval o Postclásica. (TABALES, 2002:25).

Los países del sur de Europa, principalmente España, Francia e Italia, con un rico patrimonio arquitectónico y urbano, empezaron a renovar sus ciudades, lo que motivó que fuese necesario crear una gran base documental para registrar los innumerables descubrimientos acaecidos en las intervenciones iniciadas. Pero a ese respeto generalizado por los edificios históricos y la necesidad urgente de la rehabilitación de gran parte de ellos, habría que añadirle un condicionante más científico: el carácter pluriestratificado de la ciudad europea, debido a su dilatada evolución histórica. Todos estos factores fueron decisivos para buscar un método más preciso en el estudio e interpretación del patrimonio arquitectónico, que finalmente recayó en la arqueología.

[17] La nueva Carta amplía las aportaciones de la restauración de Camillo Boito, como las referidas a la relación del monumento con su entorno más cercano y al concepto de saneamiento urbano (diradamento).

Mientras que la restauración arquitectónica asimilaba los principios reguladores de las nuevas Cartas[18], en el campo de la arqueología surgieron nuevos enfoques teóricos, que desembocaron en lo que se ha llamado "Nueva Arqueología". Los años sesenta fueron primordiales para el despertar de la disciplina, desarrollándose nuevas prácticas metodológicas que hacen cambiar la trayectoria de la arqueología, y que se consuma en el método del inglés Edward C. Harris, basado en un protocolo de estudio estratigráfico y que se convertirá en una herramienta fundamental de intervención en edificios históricos.

Fue en Italia donde se produjo un mayor desarrollo en la dinámica de investigación y búsqueda de sistemas adecuados para la comprensión arqueológica de los edificios, asimilando los principios estratigráficos de Harris, la tradición urbana y de "urgencias" y los fundamentos de la pluriestratificación. En 1977, el investigador Andrea Carandini propone la asunción de una carta general sobre la intervención arqueológica, incorporando el uso de fichas para el control de los estratos y materiales examinados. Ricardo Francovich, en 1979, reclamaba para la rehabilitación de edificios históricos la investigación arqueológica (FRANCOVICH, 1979: 35-46). Aunque va a ser en la década de los ochenta, con el aumento de las rehabilitaciones, cuando se produzca un gran progreso científico en el campo arqueológico, desarrollándose los nuevos sistemas y métodos de investigación arqueológica en el patrimonio arquitectónico teorizados en las dos décadas anteriores.

Fig. 12. Mapa con la cualificación de los bordes en las diferentes superficies de la fachada del Palazzo Gritti Badoer en Venecia. Taller de Restauración IUAV de Venecia, Profesor F. Doglioni, 2002-2003.

[18] Tras la Carta de Atenas de 1931se inicia una profunda renovación en Europa de las teorías de conservación y restauración del patrimonio edificado, por entonces monumental.

En lo referente al ámbito nacional, los sistemas y métodos de indagación arqueológica tienen una tradición dilatada en el tiempo, pero no va ser hasta los años ochenta, coincidiendo con la diversidad de actuaciones, cuando se hagan aportaciones metodológicas de gran calado. Mencionemos al equipo encabezado por Caballero Zoreda[19], al arquitecto Antoni González en Barcelona[20] y otros investigadores castellanos muy influyentes: Jiménez, López Muñoz y Latorre[21]. En el ámbito autonómico hay que citar, concretamente en Sevilla, los trabajos del profesor Tabales que aprovechando la multiplicación de las intervenciones desarrolladas a partir de 1985, inicia el camino hacia la búsqueda de nuevos sistemas de investigación.

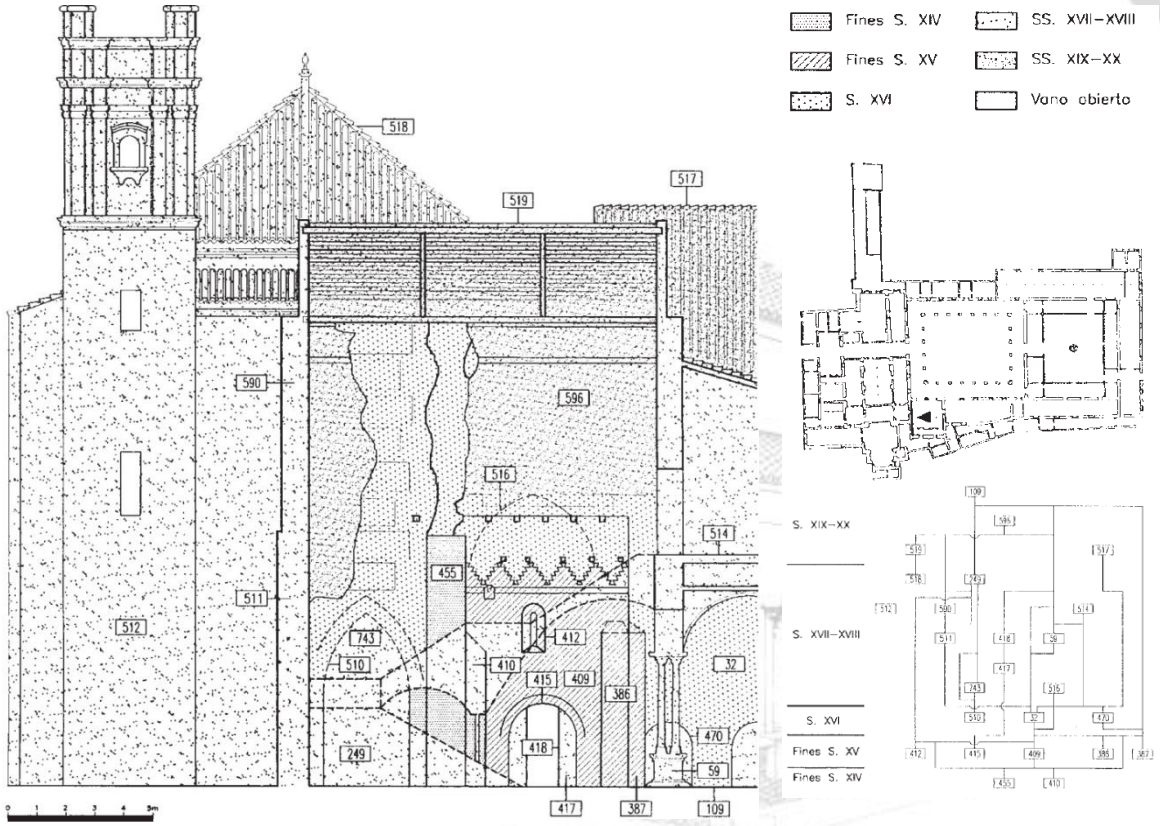


Fig. 13. Análisis estratigráfico. Cuartel del Carmen (1990). Fuente: Miguel Ángel Tabales Rodríguez.

Otro hecho relevante en la trayectoria de la nueva corriente restauradora fue, en los años noventa, la importante contribución de la arquitecta Rita Tagliabue por buscar una solución al problema de interdisciplinariedad de toda intervención en el patrimonio histórico.

Resumiendo, había motivos suficientes para justificar la gran cantidad de actuaciones de rehabilitación y restauración en todas las artes en el siglo XX: una guerra mundial devastadora para muchas ciudades del centro y norte de Europa, y una herencia de gran riqueza patrimonial en las regiones de los países del sur, con una enorme cantidad de edificios históricos que se alzan sobre restos

[19] Investigador del Centro de Ciencias Humanas y Sociales del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
[20] Como director del Servicio de Conservación de la Diputación de Barcelona. Es autor de múltiples estudios sobre la metodología de la rehabilitación.
[21] Arquitecto y profesor en Restauración y Rehabilitación arquitectónica. ETS de Arquitectura de Madrid.

romanos, que comparten estructuras de la Edad Media o han sufrido infinidad de interposiciones. Aunque para el caso concreto del patrimonio edificado, con unas características propias y variables en función del espacio y tiempo, se requería de una técnica más eficaz, que la empleada hasta los años setenta, apoyada siempre en el rigor científico para obtener interpretaciones menos aleatorias a la hora de intervenir en áreas patrimoniales de gran complejidad evolutiva. Germina, por tanto, una nueva disciplina enfocada a la arqueología arquitectónica, denominada finalmente como Arqueología de la Arquitectura.

Ya en el siglo XXI, con el objetivo de seguir promoviendo marcos de debate e intercambio de ideas entre los estudiosos interesados en la arqueología de la arquitectura y, asimismo, impulsar la creación de instrumentos básicos que den coherencia a las experiencias realizadas en el espacio disciplinar, en el año 2002 se publica en España el primer ejemplar de la revista científica Arqueología de la Arquitectura[22].

En esta primera década, sobre todo en España, se han incrementado los encuentros entre los profesionales del patrimonio: jornadas, seminarios y cursos de posgrado, especialmente dirigidos a arqueólogos, historiadores, historiadores de la arquitectura y del arte, restauradores, arquitectos y profesionales relacionados con la documentación, estudio e intervención en el patrimonio edificado. En octubre de 2009 el Área de Intervenciones en Bienes Culturales del Instituto del Patrimonio Cultural organizó una reunión de especialistas prestigiosos (españoles e italianos) en el campo de la arqueología aplicada al estudio e interpretación de edificios históricos[23].

Estos hechos de los últimos años, demuestra que esta nueva disciplina suscita gran interés para el futuro de la conservación del patrimonio arquitectónico y arqueológico. Hoy, cualquier equipo redactor de un proyecto de restauración de edificio histórico le otorga a la metodología arqueológica (sustentada en estudios paramentales y análisis estratigráficos) un valor importantísimo, pues aporta valiosísima información para el conocimiento y comprensión del objeto arquitectónico a conservar. Los datos allí extraídos derivan en conclusiones determinantes e irrefutables, lo que les convierte en imprescindibles en la toma de decisiones de un proyecto multidisciplinar.

4.2.3. Seguimiento arqueológico de las obras

La evolución experimentada en el campo de la restauración arquitectónica, en los últimos años ha sido expuesta de manera sintetizada en el apartado anterior, si bien hay que expresar que en toda obra de restauración de edificios con

[22] Arqueología de la Arquitectura es una revista coeditada por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas CSIC y la Universidad del País Vasco UPV. <http://arqarqt.revistas.csic.es/index.php/arqarqt/index>.

[23] Esta iniciativa perseguía, por un lado, ofrecer un foro a expertos donde pudieran exponer sus últimos trabajos, debatir sus métodos y plantear propuestas para el futuro; por otro lado, hacer extensivo el conocimiento de las técnicas de análisis arqueológico a los profesionales que intervienen en el patrimonio histórico; y por último, dotarles de una herramienta práctica y operativa que facilite su trabajo y les permita extraer el máximo de información contenida en la materialidad emergente del edificio. Libro: Arqueología Aplicada al Estudio e Interpretación de Edificios Históricos.

ciertos valores históricos y artísticos se encomienda al menos un seguimiento arqueológico de las obras. Esto supondrá una mayor claridad en el establecimiento de las zonas de interés arqueológico, aunque también aportará otros beneficios histórico-arquitectónicos que convierten a la arqueología, hoy en día, en una herramienta imprescindible en cualquier intervención en el patrimonio edificado.

Según Brogiolo (1995):

> *el análisis no puede llevarse a cabo por escaladores solitarios. Ni por el estratígrafo, ya que su bagaje conceptual prescinde de los aspectos histórico-formales, ni tampoco por el historiador de la arquitectura, pues su disciplina no ha teorizado la identificación de la unidad estratigráfíca ni los modos para establecer sus relaciones. Por ahora podemos suponer la coexistencia de dos caminos, el estratigráfíco y el histórico-artístico. Pero debemos favorecer que ambos puedan ser recorridos por una misma persona: un arqueólogo que conozca la historia de la arquitectura o, mejor, un historiador de la arquitectura que haya asimilado los instrumentos conceptuales de la arqueología estratigráfíca.*

La participación de los arqueólogos en los equipos multidisciplinares formados por arquitectos, aparejadores, historiadores, restauradores e ingenieros es científicamente necesaria, y permitirá abordar con la suficiente competitividad la intervención en el patrimonio arquitectónico. Por la complejidad que supone el trabajo de recopilación de documentación y la toma de datos para la redacción del proyecto de restauración, como por disponer de un diagnóstico externo desde una visión no rigurosamente arquitectónica previa a la toma de decisiones, la incorporación de estos profesionales en las labores de proyecto, en la posterior ejecución de obra, o incluso en el caso que se haya establecido un seguimiento arqueológico, está suficientemente justificado (MALDONADO, VELA, 1999).

Aunque, al recaer actualmente en los arquitectos la responsabilidad de la redacción del proyecto y la posterior dirección de la ejecución, son ellos los que deben estructurar la intervención del equipo multidisciplinar, coordinando las labores asignadas a cada disciplina, pero sin que falte un flujo de información retroactivo. En países como Alemania está bien asentada la figura del *bauforschung,* considerado como un investigador-coordinador que compagina los conocimientos de todas las disciplinas y compartimentos formacionales, aunando los elementos tradicionales de la arqueología y arquitectura (TABALES, 2002:94).

4.2.4. Análisis arqueológico de construcciones históricas

En la fase de investigación del edificio patrimonial se posicionaría con fuerza lo que se conoce como Análisis Arqueológico de Construcciones Históricas, que tiene como herramienta más operacional la *lectura estratigráfica de paramentos* (BROGIOLO,1995). Hoy en día, en cualquier intervención en el patrimonio arquitectónico, se hace indispensable de un estudio estratigráfico de los paños –sean cimientos, muros, o pavimentos-, que nos permitirá una toma de datos muy válida, facilitando la interpretación histórica del edificio dentro de su contexto físico. Este procedimiento, ayudará a programar la intervención en la fase proyectual y tomar decisiones precisas durante la ejecución de las obras, sin olvidar el seguir avanzando en el conocimiento histórico en sus facetas arquitectónica y constructiva.

La arqueología estratigráfica se basa en la aplicación de los principios de la estratigrafía geológica y su aplicación a la excavación arqueológica (HARRIS, 1991), que aplicada a la arquitectura nos permitirá una lectura de paramentos verticales facilitando las tareas de la investigación histórica del edificio. En la actualidad esta técnica se ha convertido en uno de los métodos indispensables de toma de datos y análisis histórico para cualquier intervención sobre patrimonio arquitectónico. Los trabajos operan sobre los depósitos horizontales y verticales del paramento en estudio, sea en el subsuelo o emergente, permitiendo un estudio de los depósitos arqueológicos, su estado, su valoración y su protección antes de las obras.

Según el profesor y arqueólogo Miguel Ángel Tabales (2002):

> *En la rehabilitación de un edificio histórico que conserva sus estructuras verticales, el análisis arqueológico de sus paramentos se configura como la herramienta principal, suponiendo el montante más consistente en cuanto a información estratigráfica y estructural, respecto de los diferentes controles de obra y a los estudios multidisciplinares.*

Y es así por la tradición constructiva de reaprovechar total o parcialmente las estructuras anteriores, o insertar elementos singulares en las nuevas construcciones – sillares, columnas, cornisas, etc.-, aunque también toman gran peso las remodelaciones continuadas en el devenir de los siglos. Es el caso de Sevilla pasa por tres períodos determinantes: el almohade (S.XII-XIII), el de reconquista (S.XIII-XV) y el colonial (S.XVI-XVIII), muy influyentes en las construcciones históricas con alteraciones de pisos, cambio de faldones de cubierta, cegado y nuevas aperturas de huecos (TABALES, 2002:101).

Si pensamos en el proceder de cualquier obra de remodelación, los trabajos de picado y enfoscado de paramentos son primordiales, ya sean para comprobar la estabilidad de los muros, para eliminar humedades en reposiciones de revestimientos muy deteriorados o en la realización de calos para introducir

instalaciones. La información de ahí extraída será fundamental para las decisiones del proyecto de rehabilitación relativas a la consolidación o demolición del muro, a la importancia de los antiguos vanos cegados descubiertos y la idoneidad o no de abrirlos, y a la conservación de paños de azulejos y pavimentos.

La lectura estratigráfica de paramentos constituye no solamente un instrumento valioso de indagación y conocimiento del hecho patrimonial, sino que se hace clave insustituible del proceso de restauración. El arquitecto Brogiolo (1995) asegura que con este proceder se forma "una continuidad lógica entre la fase cognoscitiva -arqueología e historia artística sintetizadas en el diagrama-, las opciones iniciales del proyecto y las correcciones impuestas por las nuevas informaciones obtenidas al ejecutarse la obra de restauración". Esto llevaría a una estrecha colaboración entre el arqueólogo-historiador y el arquitecto, que es quien toma las decisiones del proyecto.

El siguiente esquema resume los caminos cognoscitivos de las disciplinas participativas (historia, geografía humana, historia de la arquitectura, arqueología, arqueometría) que, analizando los diversos aspectos de un edificio (función, forma, estratificación, material), producen informaciones útiles para las opciones de restauración (BROGIOLO, 1995:33).

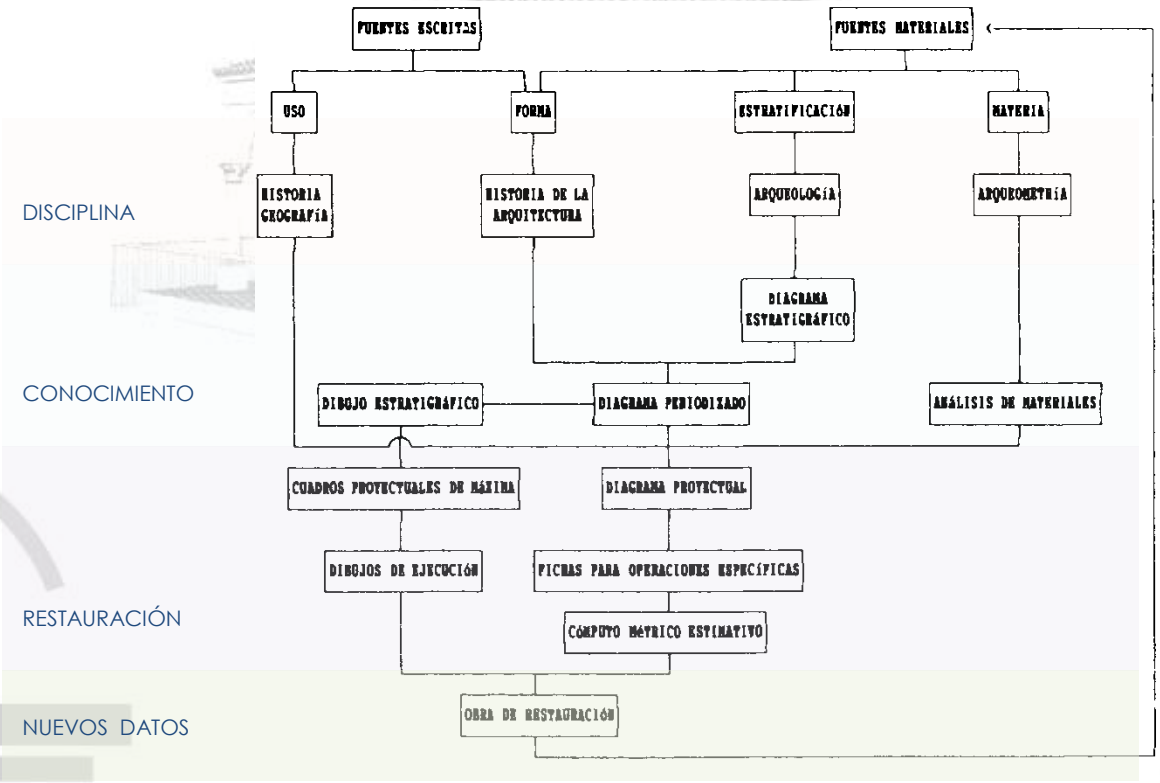


Fig. 14. Esquema de los caminos cognoscitivos de distintas disciplinas en restauración. Fuente: Informes de la Construcción, nº435, 1995.

4.2.5. Los principios de la estratigrafía arqueológica

Será a partir de la publicación por Edward C. Harris de los Principios de *estratigrafía arqueológica*[24] cuando comienza a aplicarse la lectura estratigráfica de paramentos en los yacimientos arqueológicos. La estrategia a seguir se fundamenta en tres principios básicos bajo influencia de la estratificación geológica, "resultado de procesos de erosión y acumulación", y un cuarto de estratificación arqueológica "como el resultado de procesos de formación de estratos y excavación por parte del hombre" (HARRIS, 1979: 70-71).

Los principios de estratigrafía arqueológica quedan enunciados en cuatro leyes, que presentamos a continuación de manera resumida:

1. Ley de superposición: En una serie de estratos y elementos interfaciales en su estado original, las unidades de estratificación superiores son más recientes y las inferiores son más antiguas.

2. Ley de horizontalidad original: Cualquier estrato arqueológico depositado de forma no sólida tenderá hacia la posición horizontal. Los estratos con superficies inclinadas fueron depositados originalmente así.

3. Ley de continuidad original: Todo depósito arqueológico o todo elemento interfacial estará delimitado originalmente por una cuenca de deposición. Si cualquier extremo presenta una cara vertical, significa que se ha perdido parte de su extensión original, ya sea por excavación o por erosión.

4. La ley de sucesión estratigráfica: Una unidad de estratificación arqueológica ocupa su lugar exacto en la secuencia estratigráfica de un yacimiento, entre la más baja (o más antigua) de las unidades que la cubren y la más alta (o más reciente) de todas las unidades a las que cubre.

Harris también realiza una diferenciación de estratos, distinguiendo el estrato arqueológico, originado por acción deliberada del hombre, y el estrato vertical, que lo asocia a depósitos análogos localizados en la excavación, como son los muros (HARRIS, 1991:209). Esto fue clave a la hora de considerar el método de análisis arqueológico como base científica para el estudio de la estratificación arquitectónica.

Aunque lo verdaderamente revolucionario será el denominado *Matrix Harris*, a modo de una ficha con cuadrícula de pequeños rectángulos, donde el arqueólogo simbolizará el diagrama que representará la *secuencia estratigráfica*, es decir, el "orden de la deposición de los estratos y la creación de elementos

[24] HARRIS, E Edward C. Principios de estratigrafía arqueológica. Prólogo a la edición española de Emili Junyent. 1991. Editorial crítica. Barcelona.

interfaciales a través del paso del tiempo" en un yacimiento arqueológico (HARRIS, 1991: 58).

4.2.5.1. Relaciones estratigráficas

Edward C. Harris ve necesario expresar las relaciones entre unidades de estratificación arqueológica, en el mismo diagrama, contemplando tres posibilidades: A. Las unidades no tienen conexión estratigráfica directa; B. Las unidades se superponen; C. Las unidades se interrelacionan como partes separadas de un todo, hoy día seccionado (depósito o elemento interfacial) (HARRIS 1991: 60).

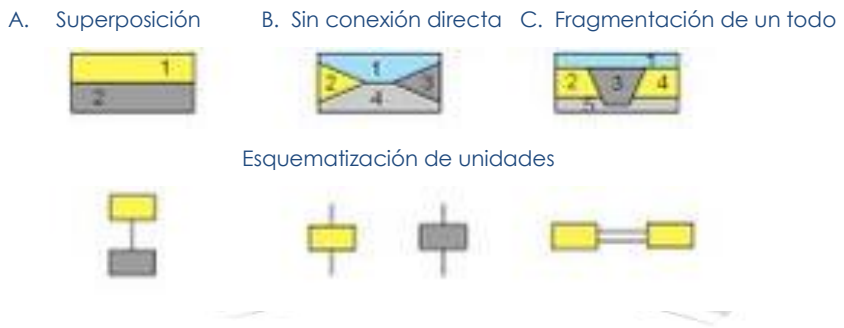


Fig. 15. Relaciones de unidades estratigráficas y su esquematización para confeccionar el diagrama estratigráfico.

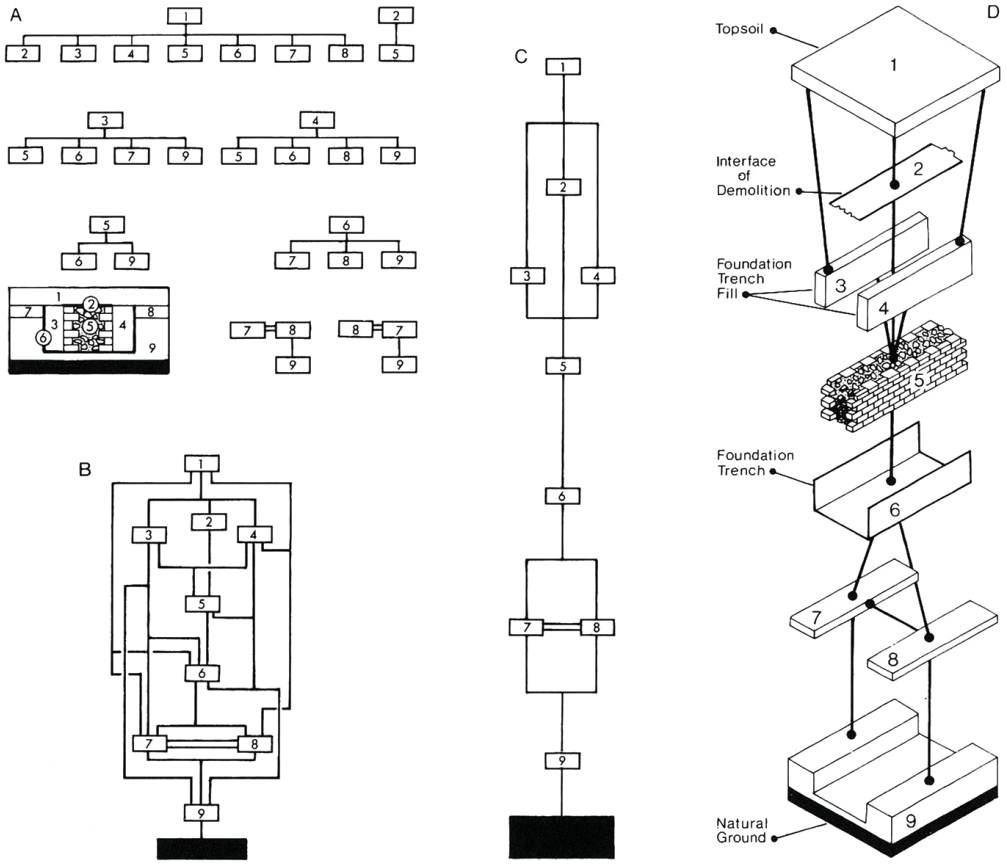


Fig. 12 The compilation of a stratigraphic sequence. In (A) all the superpositional relationships are shown in the section and in the Harris Matrix form. (B) A matrix rendition of a section, which is clarified into a stratigraphic sequence in (C), according to the Law of Stratigraphical Succession.

Fig. 16. Compilación de una secuencia estratigráfica. En A se muestran todas las relaciones de superposición en sección y en forma de Matrix Harris. B es la interpretación de una sección según el Matrix. C en forma de secuencia estratigráfica clarificada, según la ley de sucesión estratigráfica. (HARRIS, E. C. 1989: Principles of Archaeological Stratigraphy, Academia Press Limited, London).

4.2.5.2. Ordenación de las relaciones físicas

El procedimiento general se inicia con una identificación de las diferentes unidades estratigráficas a modo de relaciones físicas, para proseguir con la ordenación de las mismas, estableciéndose una secuencia lógica, desde la más antigua a la más reciente. Para determinar el orden de posición de las unidades estratigráficas, se deben aplicar los principios de la estratigrafía arqueológica: superposición, horizontalidad original, continuidad original y sucesión.

Será la *Matrix* Harris o diagrama estratigráfico la herramienta gráfica indispensable para transcribir las relaciones físicas de las diferentes unidades estratigráficas, incorporando la componente temporal (cuarta dimensión). Según el investigador Luis Caballero (2010:108), "este método facilita la diferencia contextual estratigráfica al imponer el mayor rigor posible en el registro del documento material, de sus partes o más adecuadamente de sus relaciones".

El diagrama le permite al investigador llevar un registro riguroso, detallado y relacional entre los elementos identificados en el edificio histórico. El proceso pasa por una descomposición del edificio en sus elementos mínimos, para que después la matrix vuelva a recuperar la unidad del edificio, pero ahora a modo de secuencia (temporal) simplificada. La estructura básica del diagrama la conforma columnas (relaciones diacrónicas) y líneas (relaciones sincrónicas). Las casillas estarán numeradas para marcar la posición de la unidad estratigráfica en la prospección, mientras que las líneas establecerán las relaciones (CABALLERO, 2010:111).

Hay que puntualizar que la secuencia estratigráfica anterior establece un orden cronológico "relativo", pues su posición definitiva la determina una relación que puede ser de anterioridad/posterioridad o de contemporaneidad.

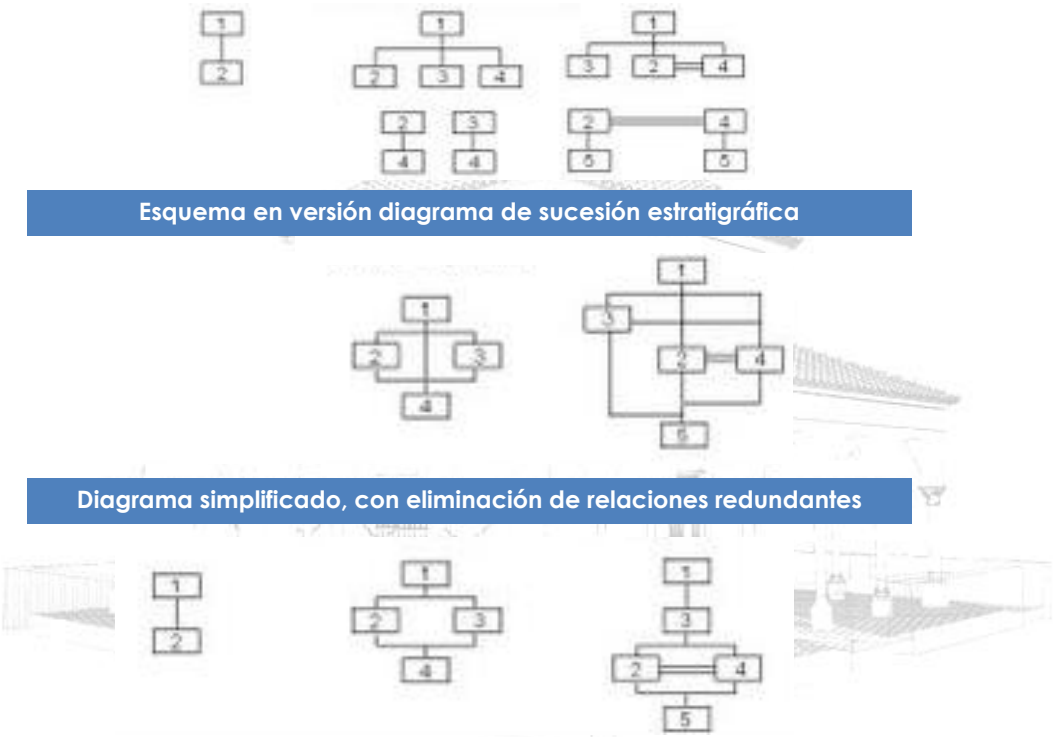


Fig. 17. Evolución por fases del Matrix Harris hasta llegar al diagrama simplificado, que expresa la secuencia estratigráfica con eliminación de las relaciones redundantes.

4.2.5.3. Periodización de unidades estratigráficas

La secuencia estratigráfica se puede distribuir entre diferentes etapas dando lugar a agrupaciones temporales de unidades, ejecutadas en un mismo momento o durante una misma fase constructiva (HARRIS, 1991:210). Esto dará lugar a la formación de periodos constructivos de la historia del edificio.

La periodización se fundamenta en la ordenación lógica de las diferentes intervenciones dentro de la secuencia de unidades. Si se piensa en la ejecución generalizada de muros de tapial y se localiza la superposición de un lienzo de ladrillos, la deducción llevaría a establecer dos periodos constructivos sucesivos y diferentes. Así, cada unidad estratigráfica relacionada con la intervención se colocará en un periodo determinado.

Esto conjetura que con la periodización se incurre en una interpretación inicial de los datos estratigráficos. "Por tanto, mientras la secuencia estratigráfica nace de la transcripción de los datos, su interpretación mediante la periodización de la misma supone un ejercicio de hermenéutica que en un futuro y a la luz de nuevos descubrimientos podría necesitar de una revisión o de una nueva interpretación" (MILETO y VEGAS, 2010:152).

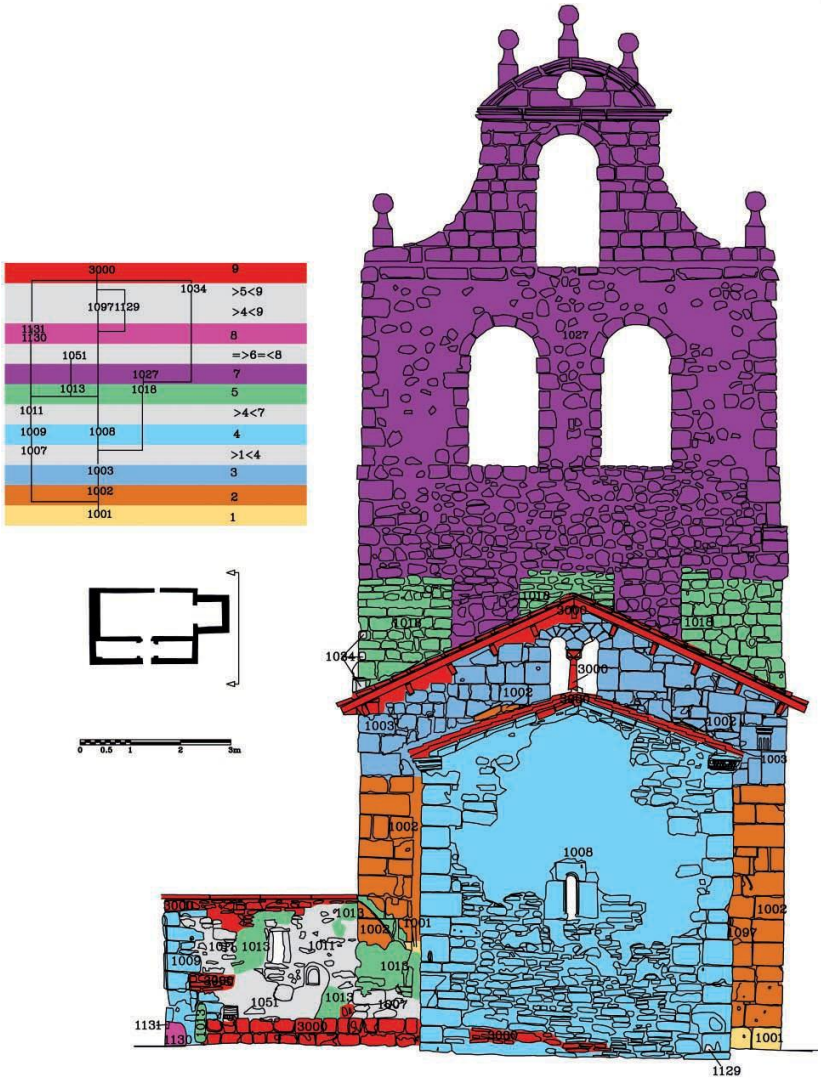


Fig. 18. Estudio estratigráfico con la periodización de la secuencia de unidades. Alzado Este de La iglesia de la Asunción en San Vicente del Valle (Burgos). Fuente: Arqueología de La Arquitectura, 7 (Arce, 2010:78).

4.2.5.4. Datación absoluta de la unidad estratigráfica

La secuencia de unidades periodizada inicialmente no tiene un valor cronológico absoluto. En base al estudio estratigráfico, se ha creado una ordenación temporal en periodos sin ninguna datación histórica. Pero cuando se analiza un edificio histórico o una parte de él (un muro, por ejemplo), es primordial poder relacionar la unidad estratigráfica (fase constructiva observada) con un periodo histórico. Será la metodología de la arqueología aplicada a la arquitectura la que aporte una datación absoluta al análisis estratigráfico, adquirida a partir de

las características físicas de los materiales, formas y dimensiones de las piezas y sistemas constructivos insertos en las unidades analizadas[25].

Fig. 19. Alzado estratigráfico con datación de los procesos constructivos. Estancias 59 y 60 del Real Monasterio de Santa Clara de Sevilla. Fuente: Fig.17 (Oliva y Tabales, 2011:152)

4.2.6. La estratificación arquitectónica

La aplicación de la estratigrafía arqueológica al patrimonio arquitectónico surge de la necesidad de una lectura de la evolución en el tiempo de los paramentos, basada en la consideración del edificio como una prolongación del subsuelo (CABALLERO, 1995:38). La *estratificación arquitectónica*, por tanto, constituirá el conjunto de fases constructivas y periodos de uso que un edificio ha tenido a lo largo de su historia (DOGLIONI, 1997:53-64), caracterizándose las fases constructivas por acciones de construcción (positivas), acciones de demolición (negativas) o acciones que transmutan lo existente (transformativas). Y del conjunto de estas acciones nacerá la *unidad estratigráfica arquitectónica* como una zona uniforme caracterizada por sus materiales, técnicas constructivas, composición, acabado, etc.

[25] Mannoni (1984: 396-403) expone una serie de indicadores cronológicos para la datación del edificio histórico: las que derivan de fuentes indirectas o documentales (históricas, cartográficas, iconográficas), y las directas (observables en el edificio "in situ").

Pero es importante también definir las *relaciones* de temporalidad existentes entre las diferentes unidades estratigráficas. Será el perímetro o la zona de delimitación la que determine el tipo de relación de dos unidades estratigráficas que se adosan. Estas relaciones podrán ser de *contemporaneidad* (dos unidades construidas dentro de una misma fase constructiva) o de *anterioridad/ posterioridad* (dos unidades ejecutadas en dos fases sucesivas y diferentes)[26].

Fig. 20. Identificación y datación de las unidades estratigráficas arquitectónicas. Alzado Oeste del Refectorio del Real Monasterio de Santa Clara de Sevilla. Fuente: Fig.21 (Oliva y Tabales, 2011:155)

La lectura estratigráfica se presenta como insustituible para reconocer los acontecimientos constructivos, pero no sabe explicar su significado. Al limitarse a documentar y secuenciar las acciones constructivas, no posee los instrumentos conceptuales que definen los aspectos estilísticos y formales de un edificio. Será la historia del arte, actuando por esquemas analógicos, quien reconstruya los aspectos formales de un edificio y complete la investigación historiando la aséptica secuencia conseguida por la arqueología estratigráfica.

Por tanto, el diagrama no sólo debe representar la secuencia de las unidades estratigráficas sino la identificación de los elementos estructurales estáticos, huecos, ornamentación, etc., que no se hacen evidentes en la lectura estratigráfica por estar insertos en acciones constructivas más generales (Ver la Fig. 21. BROGIOLO, 1995:32).

Aquí el aporte de conocimientos, tanto históricos como arquitectónicos, son imprescindibles para establecer la analogía entre distintas acciones constructivas, permitiendo ordenar la secuencia y reconocer las interfaces de período, o conjunto de unidades estratigráficas que en una fase determinada en el tiempo definen la forma del edificio.

[26] Las relaciones estratigráficas arqueológicas se han venido adaptando progresivamente al estudio de la arquitectura a través de una serie de textos (PARENTI, 1986, 1988; BROGIOLO: 1988).

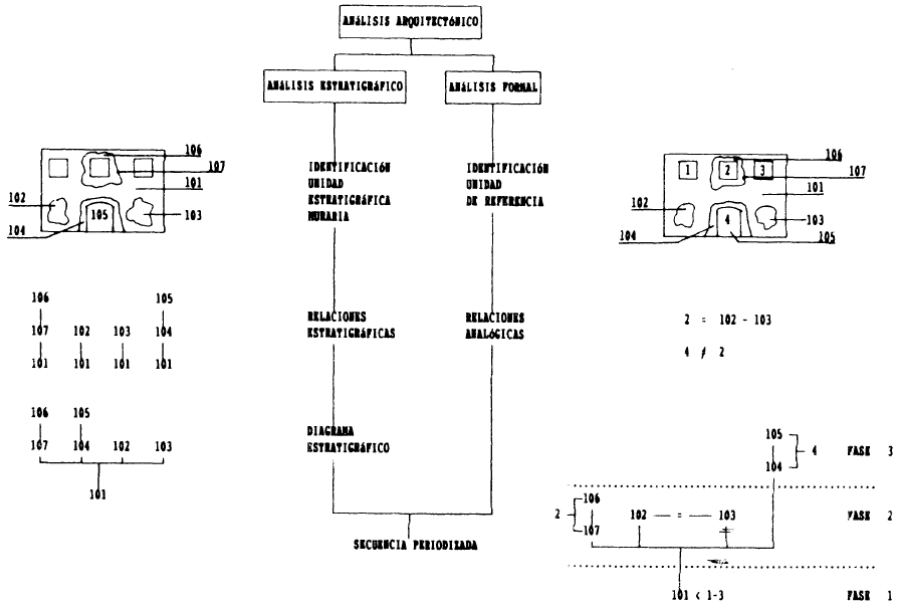


Fig. 21. El esquema establece el doble recorrido paralelo para periodizar la secuencia: A. análisis estratigráfico: identificación de las unidades, identificación de las relaciones y construcción del diagrama; y B. análisis formal o histórico-artístico: identificación de los elementos formales y relaciones analógicas. (Brogiolo, 1995:32).

4.2.7. El análisis de la tipología constructiva

Al analizar el paramento de un edificio histórico, se verá que presenta diferentes zonas o *estratos*, asociados a las sucesivas aportaciones ocasionadas en la historia del bien inmueble, como también las huellas de las destrucciones. Así, cada fase constructiva del edificio o parte de ella constituirá un estrato con características propias: el cuerpo o masa del estrato y las superficies que lo demarcan[27].

Fig. 22. Estudio tipológico con la diferenciación de los tipos de aparejo. Alzado Oeste de la nave de los dormitorios. Realizado por Amparo Graciani. Fuente: Arqueología de La Arquitectura, 8 (2011:154).

La importancia que adquiere la superficie en la lectura paramental es muy superior en la estratigrafía arquitectónica debido a que constituyen a menudo la única parte visible del estrato (las dos caras de un muro aparejado o el enlucido

[27] Doglioni (1997: 65-72) distingue entre estratos principales o estructurales (cimientos, muros, forjados y cubiertas) y estratos secundarios que se apoyan en los anteriores (revestimientos y pavimentos).

que lo envuelve) y, por tanto, la única parte que se puede documentar y estudiar (MILETO y VEGAS, 2010: 149).

Fig. 23. Fachada desnuda de revestimientos después del picado, donde se aprecia la diversidad de fábricas. Rehabilitación de vivienda rural. Finales S.XIX, principios S. XX. La Palma del Condado. Fotografía del Autor.

Según el investigador Fernando Arce (2010:67) "el edifico es interpretado como parte de una familia arquitectónica coherente, técnica e históricamente, cuyos diferentes miembros pueden y deben compartir información entre ellos en aras de una comprensión sistémica de la producción arquitectónica que ayude a avanzar en el actual contexto historiográfico, dominado por una discusión constante sobre las cronologías de estos edificios"[28].

Sírvase como ejemplo aclarador la lectura estratigráfica paramental de la iglesia de la Asunción, en San Vicente del Valle (Burgos) (Fig. 24). En la estratificación arquitectónica (obsérvese la sección-alzado S de la figura siguiente, Fig. 25), el mismo autor detecta "la existencia de un elemento con carácter de solución de continuidad. Se trata de una estrecha hilada de regularización, presente en los muros N y S, que tiene por objetivo recuperar la horizontalidad de la hilada, sobre todo en la zona occidental,(…), parece tener sentido como preparación para seguir levantando un muro previo no acabado en su momento".

Prosiguiendo con su análisis paramental para la segunda obra de sillería (Fase 2 (1002), color marrón), también evidencia signos distintivos en el labrado de las fábricas y dimensión de los sillares, determinantes a la hora de diferenciar las unidades estratigráficas: "Las hiladas de 1001 trazan líneas bastante horizontales, pero tienden a inclinarse hacia abajo en dirección O en las partes altas. Las de

[28] El trabajo dio como fruto el descubrimiento de dos intervenciones arquitectónicas relevantes prerrománicas: la construcción de un primer edificio y su transformación en un momento posterior.

1002,…, son en general más horizontales y evitan además doblar hiladas. La altura de los sillares de 1002, exceptuando las hiladas de regularización, es bastante más regular que en 1001, donde tenemos una más amplia variedad de tamaños" (ARCE, 2010:81).

Fig. 24. Imagen parcial del muro Sur (ábside) de la iglesia altomedieval de la Asunción en San Vicente del Valle (Burgos).

Fuente: Arqueología de La Arquitectura, 7, 2010, pp.69.

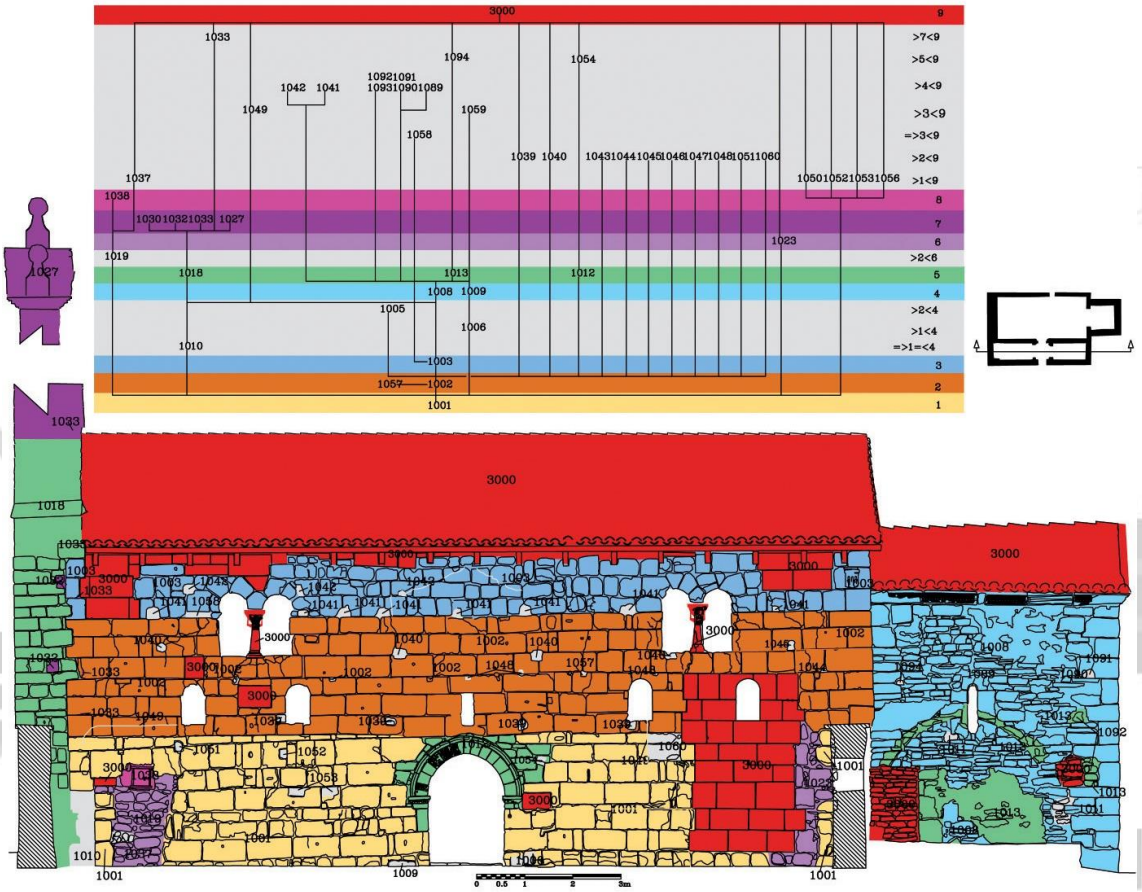


Fig. 25. Estudio estratigráfico de la Sección-Alzado S (hacia el sur) de La iglesia altomedieval de la Asunción en San Vicente del Valle (Burgos). Fuente: Arce (2010:81).

De la lectura de este análisis paramental podemos extraer que la morfología actual de la superficie es determinante en la lectura e interpretación de la arquitectura. Es por ello, que una buena toma de datos es decisiva para un levantamiento estratigráfico y constructivo del edificio eficiente, no debiendo obviar ningún detalle por pequeño e insignificante que al principio parezca.

4.2.8. Metodología en el levantamiento estratigráfico-constructivo

Según Doglioni (1997:131) un análisis estratigráfico de la arquitectura o *estratigrafía de la arquitectura* implica la identificación de los datos materiales que se realiza directamente in situ sobre el edificio y que necesita un proceso de transcripción o *levantamiento estratigráfico*. Esto último se podría traducir en una representación indispensable de las observaciones recogidas en forma de croquis, dibujos o símbolos.

Después de una primera fase de identificación de los datos, consistente en la observación in situ de los estratos, superficies, perímetros y sus relaciones, se pasaría a la interpretación. Es en esta fase donde se debe incluir la documentación escrita y gráfica de las observaciones realizadas, mediante fichas, fotografías y dibujos de la mayor claridad y precisión. Por tanto, el análisis estratigráfico necesita un tipo de representación que traduzca las indagaciones derivadas de la lectura crítica de paramentos.

Aunque para que la transcripción de los datos sea efectiva hay que basarse en un soporte gráfico lo más veraz. El dibujo o el esquema son idóneos en la identificación de zonas análogas en el estudio de paramentos, pero deberá evitar cualquier interpretación fuera de la realidad objetiva, que implique olvidos de información o detalles importantes para la lectura estratigráfica en etapas posteriores. Es aquí donde la fotografía u ortoimagen jugará un papel importante (MILETO y VEGAS, 2010:150).

Los trabajos de documentación se podrían estructurar en las siguientes etapas:

1. Una vez perfilado el soporte gráfico (dibujos, fotografías o croquis), se trazan los perímetros de las unidades estratigráficas identificadas en la fase de observación directa del edificio (Fig. 26).

2. Cada unidad zonal, marcada a través de su perímetro en los planos de levantamiento, quedará identificada individualmente por una serie numérica única e inequívoca, no siendo necesario que el orden corresponda al ordenamiento de la secuencia estratigráfica (Fig. 27).

   A las siglas UE se le asocia un número correlativo para diferenciarlas. Si se localizan en el edificio varias zonas, se reservan series de millares para cada zona (zona 1: del 1.000 al1.999; zona 2: del 2.000 al 2.999). La numeración sistematiza en tres niveles los elementos, destinando: unidades y decenas para

fases y etapas (del 1 al 99); centenas para actividades A (del 100 al 999); y millares para unidades estratigráficas UE (1.000 en adelante).

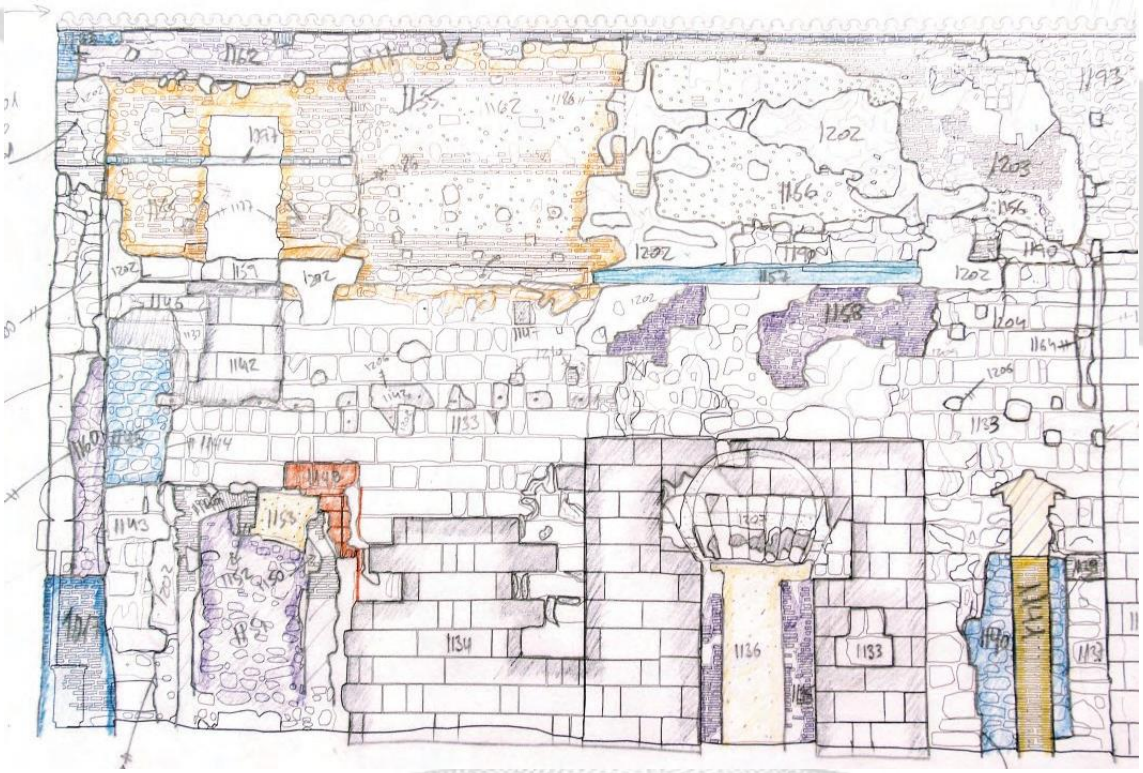


Fig. 26. Croquis de campo de Caballero Zoreda con individualización de depósitos UEM y superficies que se reconocen en el alzado norte de la Iglesia de Santa Clara en Córdoba, 2006. Archivo Fundación Caja Madrid.

Fig. 27. Planimetría y diagrama cronológico. Santa Clara de Córdoba. GI AA, IH, CSIC. (CABALLERO, 2010:114)

3. Complementar los alzados estratigráficos, planos dibujados o fotografías, con una simbología a base de marcas identificativas para llegar a un completo levantamiento estratigráfico-constructivo. Desde el lado de este análisis, cada símbolo estará asociado a las cualidades de superficies y perímetros de las unidades constructivas, y de las relaciones existentes entre ellas; y, por otro lado, vinculados a las huellas identificables en los muros (esquinas, jambas de huecos, cierres de aperturas, trabas en muros, adosamientos, etc.) (DOGLIONI, 1997:131-160).

En la figura siguiente Miguel Ángel Tabales presenta un análisis tipológico y estructural de un lienzo del Patio del Yeso, empleando una simbología propuesta para distinguir relaciones entre las unidades y diferenciar tipologías constructivas o estructurales: vanos, aparejos, enlucidos y añadidos (TABALES, 2002:202).

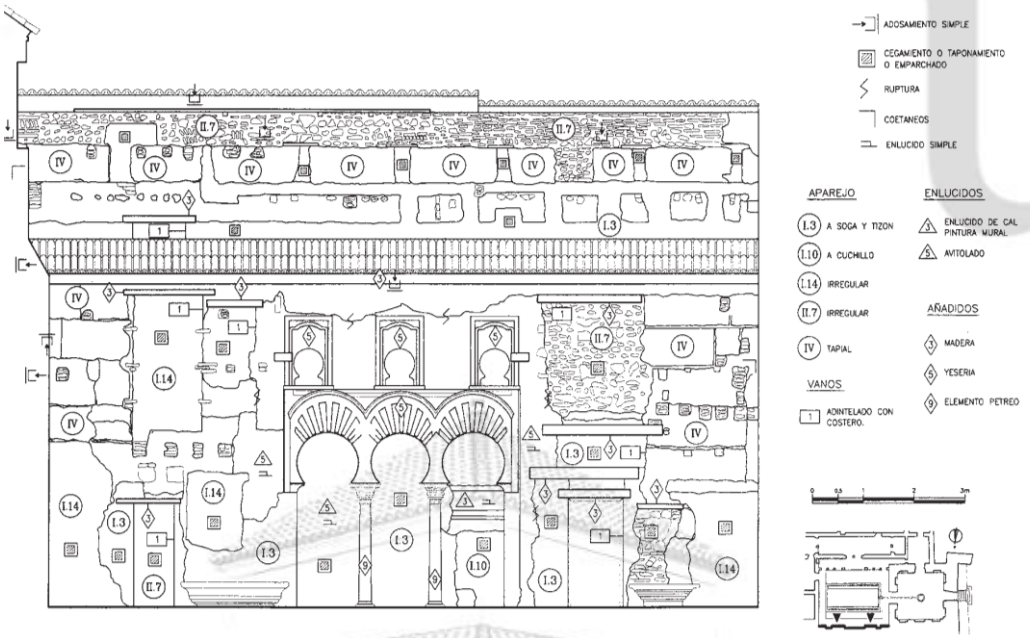


Fig. 28. Análisis tipológico y estructural. Patio del Yeso, Alcázar de Sevilla, 1998 (TABALES, 2002: 204).

Fig. 29. Simbología para análisis tipológicos y descriptivos (TABALES, 2002).

Esta técnica de representación simbólico-sintética también permite introducir en la representación gráfica gran cantidad de información procedente de la observación; partiendo primero de una global que afecta a los propios paños de muros, se dirigirá posteriormente a las unidades estratigráficas. Además, se especifican las relaciones, los materiales, las técnicas constructivas y los tipos de superficies, lo que facilitará la posterior interpretación de los datos manejados (MILETO y VEGAS, 2010: 151).

Como es habitual que se lleve consigo una cámara fotográfica digital, no debemos sortear la posibilidad de que la toma de datos se realice sobre la misma fotografía. Aunque una imagen rectificada y convertida en ortofoto tendría un valor añadido, pues además de una lectura visual de información permitiría tomar medidas y extraer las dimensiones de elementos, huecos o irregularidades determinantes en el análisis estratigráfico.

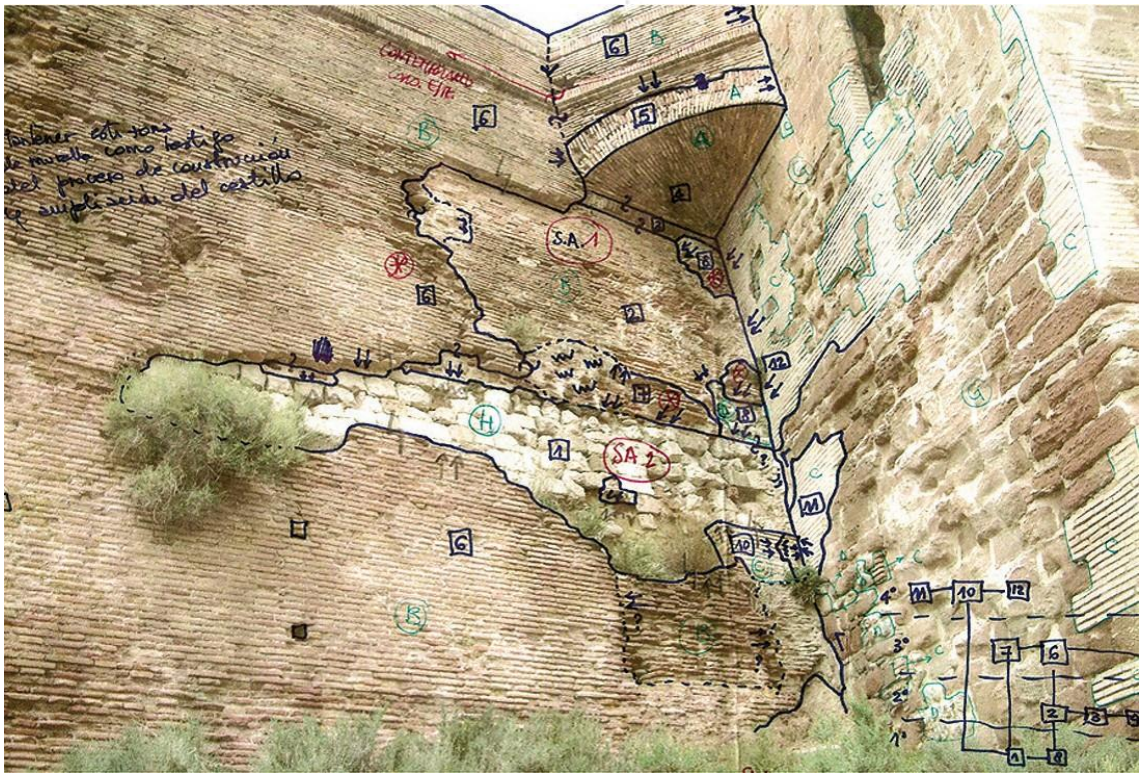


Fig. 30. Toma de datos y croquizado sobre fotografía para un levantamiento estratigráfico. Castillo de Monzón (Huesca). Autores: C. Mileto y F. Vegas. 2010.

La metodología estratigráfica nos debe conducir a unos resultados lo más rigurosos y veraces posibles. Para ello, la representación gráfica será completa, precisa y necesariamente precedente a la realización del análisis estratigráfico. En una prospección en el terreno, la toma de datos se efectúa según avanza la excavación que va descubriendo las distintas UE (croquis horizontal); mientras que en el estudio pramental "la representación es previa al estado actual del edificio, aunque durante el registro se completa marcando los límites de las distintas UE o con las nuevas UE descubiertas" (CABALLERO, 2010:108).

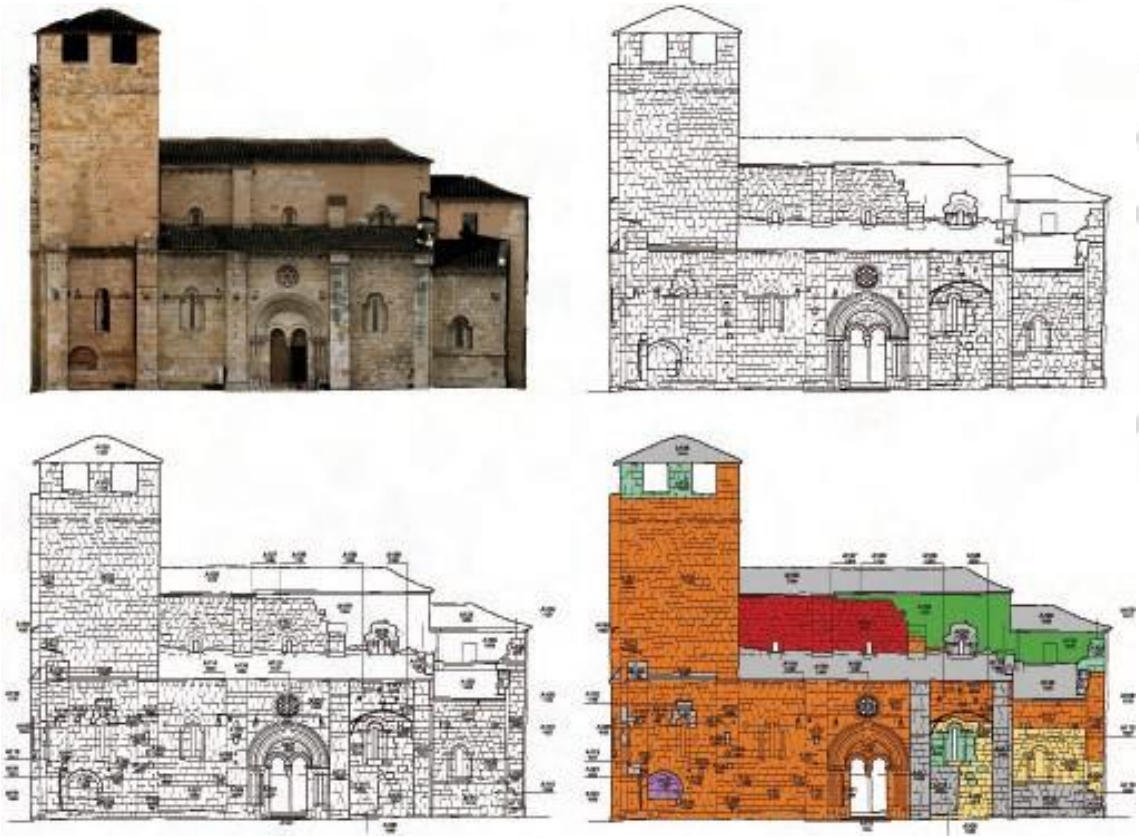


Fig. 31. Planimetría. Santiago del Burgo (Zamora). A y B, fotografía apoyada por topografía y despiece de sillería (autor: Topcal). C y D, Lectura estratigráfica. Fuente: GI Arqueología de la Arquitectura, IH, CSIC.

4. Finalmente, la documentación gráfica se complementará con la elaboración de unas fichas descriptivas para incorporar la información de los materiales identificados en el análisis estratigráfico: descripción y calificación de las unidades, y sus relaciones con las unidades circundantes.

4.2.9. Las intervenciones arqueológicas en un edificio histórico

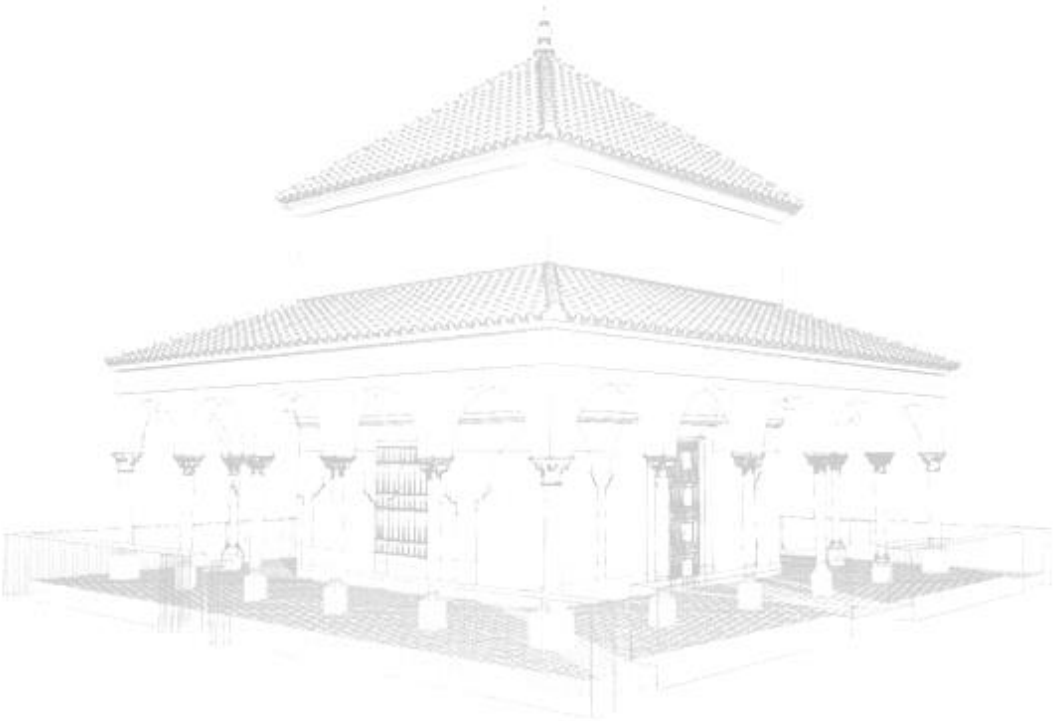
Ya se ha comentado que para cualquier intervención en el patrimonio arquitectónico se deberá establecer obligatoriamente un seguimiento arqueológico, más cuando los trabajos son susceptibles de dañar al yacimiento ya iniciado (rebajes en el terreno adyacente, recalces de los cimientos), funcionando como una etapa de supervisión que permitirá al técnico completar y actualizar los datos vigentes.

Los sondeos constituyen el procedimiento de intervención arqueológica más práctico inicialmente antes de la intervención en el edificio, más cuando no se dispone de una partida presupuestaria importante. Con ellos se podrá obtener la edad del edificio, los posteriores añadidos, e identificar los elementos aflorados y las relaciones entre ellos dependiendo de su posición estratigráfica[29]. La

[29] Si las zonas de intervención investigadas posen una gran cantidad de información histórica, y que por su estado actual de conservación requieran unas labores de reparación pausada y contrastada para salvaguardar los elementos arquitectónicos, se solicitará una excavación en área para complementar al propio proyecto de restauración.

responsabilidad de dirigir y coordinar la intervención recaerá en un arqueólogo y, por ello, como estas actuaciones arqueológicas se inscriben en proyectos de restauración arquitectónica, es importante que exista desde el inicio una cooperación y coordinación entre el arquitecto y el arqueológico.

Concluiremos, por tanto, con una reflexión en la línea del capítulo anterior, encaminada a una búsqueda de un modelo metodológico que facilite una coordinación eficiente entre las diferentes disciplinas participativas: arqueólogos, historiadores del arte, historiadores de la construcción, y las de estos con los técnicos sobre los que recaen las labores proyectuales y de dirección de las intervenciones en el patrimonio arquitectónico: arquitectos y aparejadores (GONZÁLEZ, 1995: 61).



4.3. De los Sistemas de Representación

El "dibujo" ha invadido desde tiempos ancestrales las actividades cotidianas del hombre, que lo ha utilizado como una herramienta para representar todo lo que le envuelve y le da sentido a su existencia. Además, ha constituido una fuente imprescindible de transmisión del conocimiento en todas las áreas del saber. Venga al caso los innovadores y asombrosos estudios sobre *ciencia e ingeniería* que Leonardo Da Vinci plasmó en sus diarios y cuadernos de notas (13.000 páginas de texto y dibujos), que han quedado vitrificados hasta nuestros días como obras de gran valor artístico, coligando arte y filosofía natural.

Paolo Golluzzi[30], en la presentación al libro *Atlas ilustrado de las máquinas de Leonardo: secretos e invenciones en los Códices da Vinci* (LAURENZA et al., 2006), subraya "que las representaciones que Leonardo hizo de sus máquinas constituyen una contribución revolucionaria (…) porque se configuran como representaciones 'casi dinámicas', anticipos extraordinarios de los métodos de dibujo de animación y, sobre todo, de imágenes cinemáticas del 3D". Para Domenico Laurenza, esta "capacidad de Leonardo de proyectar máquinas pertenece a una dimensión conceptual, que encuentra en el dibujo su ideal y (casi) exclusiva forma de expresión".

En Leonardo el dibujo ocupa el lugar de la letra. La línea es lenguaje, donde la sintaxis está compuesta por escaques y sombras en vez de puntuación. La imagen equivale a una fórmula física, química, científica, desde una óptica capaz de inventar la cámara fotográfica"[31].

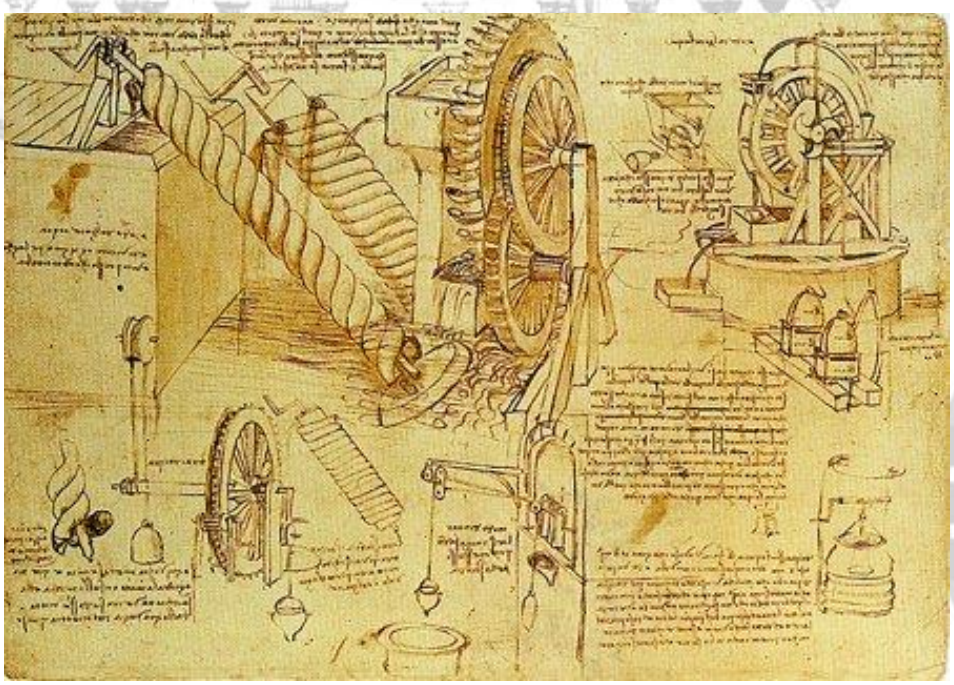


Fig. 32. Sistema de Irrigación de Leonardo Da Vinci: Puertas para exclusas; Sistema de desagües; Traje de buzo.

[30] Director del Instituto y Museo de Historia de la Ciencia de Florencia.
[31] Texto del escritor y crítico Leonardo Compañ Jasso. *Recobrar la óptica Da Vinci. La línea es lenguaje.* Revista digital Replicante, Noviembre 2010. Disponible en: http://revistareplicante.com/

Podíamos, por tanto, asimilar la técnica de proyectar de Leonardo al empleo en la actualidad de las tecnologías digitales y de la información, pues ambas traspasan una nueva dimensión, un acto que es necesario para prologar nuestra visión más allá de lo que el individuo comúnmente puede percibir.

4.3.1. El análisis espacial a través del modelo infográfico

Pero ha sido en la arquitectura donde los sistemas gráficos han tenido tradicionalmente una funcionalidad dual: se ha empleado como técnica fundamental en la representación de las nuevas creaciones edificatorias, y además ha significado un medio de análisis y estudio de las construcciones heredadas.

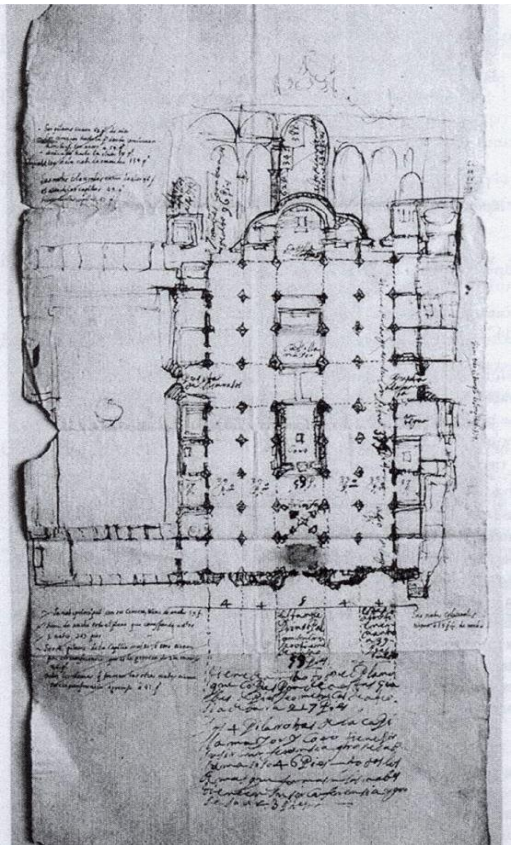


Fig. 33. Planta de la Santa Iglesia Mayor de Sevilla. Autor: Esteban García(?), 1618 al 1700. Fuente: Jiménez Martín, Alfonso "Dos croquis antiguos de la Catedral de Sevilla". En Boletín de la Academia de Bellas Artes de Nuestra Señora de la Angustias, Granada, nº 11 (2004). Pág. 24-49.

Esta segunda funcionalidad de la representación gráfica es la que nos ha permitido una mejor comprensión de los hábitos y técnicas utilizadas por nuestros antepasados, y la evolución que ha experimentado la sociedad en sus diferentes épocas. Por lo que constituye una base indispensable para una apropiada protección de nuestro patrimonio arquitectónico. "Solo desde la adecuada comprensión de lo que hay que conservar y proteger se pueden aplicar las medidas adecuadas y eficaces para ello" (ALMAGRO, 2000).

La Historiografía es conocida como el arte de escribir la Historia, es decir, una ciencia "encargada de analizar los hechos más que de registrar los acontecimientos". Pero somos conscientes de que muchos de los efemérides históricas que han llega a nuestros días llevan impresa la esencia subjetiva propia del narrador. Todo hecho analizado estará sujeto a la interpretación de quien lo observe y lo estudie. Así pues, "el conocimiento histórico está y estará siempre en construcción" (RODRIGUEZ, 2011:21). Por ello, a las crónicas históricas le deben sustentar un sistema gráfico, que más que prevalecer le aporte el sentido visual y dé como resultado una visión objetiva, crítica y veraz al estudio del patrimonio arquitectónico.

Hoy se asume el paso de una cultura verbal y escrita a una cultura en la que lo que predomina es lo visual, y todo gracias al desarrollo de la Informática Gráfica. Un cambio que está afectando a los campos más básicos de la sociedad: la educación, los negocios, la industria, el ocio, etc. (FEITO Y SEGURA, 2010: 88).

Los sistemas informáticos se han convertido en la actualidad en instrumentos habituales dentro de cualquier área laboral o social, ayudándonos en la realización de muchas tareas cotidianas. En el sector de la edificación, han permitido un perfeccionamiento del trabajo que se ha traducido en resultados más satisfactorios; pero sobretodo, ha derivado en el descubrimiento de nuevos quehaceres que eran hace poco impensables sin la ayuda de dicha herramienta.

En el área del Patrimonio Histórico se ha producido un gran acercamiento entre la restauración y las nuevas tecnologías en representación. Sus agentes -sean arqueólogos, arquitectos, historiadores o restauradores-, usan los medios que producen los informáticos, los cuales a su vez generan nuevas herramientas para cubrir los nuevos objetivos que se plantean. Esto ha originado que la documentación establecida de manera tradicional (planos, fotografías,…) se vea complementada con una representación espacial y virtual del objeto o monumento en cuestión. Son tantas las ventajas obtenidas que en la actualidad la restauración de bienes patrimoniales implica la realización obligada de un modelo 3D (LUZÓN et a., 2012).

Durante la última década se han introducido nuevas aplicaciones de representación gráfica que nos han permitido obtener modelos tridimensionales de manera muy flexible, que a su vez han ido acompañado de una virtual labor de construcción del hecho edificatorio al utilizar herramientas que facilitan la incorporación de los procedimientos constructivos en la misma progresión que la obra real. Su utilización ha beneficiado a los equipos profesionales en la elaboración de los proyectos y han supuesto un gran sustento en la labor docente dentro de los estudios académicos de arquitectura e ingeniería de edificación, como una estrategia eficaz de levantamiento y análisis gráfico, estableciendo el hecho edificatorio de manera perceptiva para el mejor conocimiento por parte del alumno (Fig. 34).

Fig. 34. *Análisis de intervenciones en elementos singulares del Convento de Santo Domingo de Jerez de La Frontera* (1999 - 2012). Fuente: Iglesias Zamora Sergio. Proyecto Fin de Grado. Profesor Tutor: Pedro Barrero Ortega. E.T.S.I.E. de Sevilla, 2013.

Fig. 35. Detalle por capas y sección a ¼ de bóveda claustral reformada. *Análisis de intervenciones en elementos singulares del Convento de Santo Domingo de Jerez de La Frontera* (1999 - 2012). Fuente: Iglesias Zamora Sergio. Proyecto Fin de Grado. E.T.S.I.E. de Sevilla, 2013

Pero el estudio del patrimonio construido, por su categoría de arquitectónico, necesita otra perspectiva de análisis, que integre la componente espacial por la que fue concebido y de la forma establecida en cada época. La profesora y arquitecta Concepción Rodríguez, en su reciente Tesis doctoral[32], toma esta vía

[32] *El Palacio de Pedro I en Los Reales Alcázares de Sevilla .Estudio y Análisis*. Tesis doctoral europea. Universidad de Granada, 2011.

de análisis al defender "la necesidad de una perspectiva multidisciplinar a la hora de enfrentarnos al conocimiento, conservación, consolidación y restauración del patrimonio arquitectónico.(…)Sin un adecuado análisis arqueológico e histórico, no podríamos hacer una lectura arquitectónica rigurosa y científica, pero del mismo modo, también hemos de aceptar la innegable componente "artística" de nuestra profesión y la particular visión que los arquitectos tenemos de la Arquitectura, como receptáculo donde se desarrolla la vida, como respuesta adecuada a las necesidades (físicas y espirituales) del hombre y la sociedad,…" (RODRIGUEZ, 2011: 23).

Fig. 36. Interior de la Galería del Claustro Bajo Reformada. *Análisis de intervenciones en elementos singulares del Convento de Santo Domingo de Jerez de La Frontera* (1999 - 2012). Fuente: Iglesias Zamora Sergio. Proyecto Fin de Grado. E.T.S.I.E. de Sevilla, 2013

4.3.2. La representación del patrimonio edificado

4.3.2.1. La Carta de Atenas (1931)

La Carta de Atenas de 1931 supuso el inicio de un profundo pensamiento internacional, en continuado progreso, encaminado a la conservación y restauración del patrimonio edificado, llamados comúnmente monumentos. Con este tratado se ratificó que estas obras son transmisoras de nuestra cultura y que llegan a representar el testimonio vivo de las costumbres de cada sociedad, por lo que hay que salvaguardarlas y divulgarlas a las generaciones futuras en su plena autenticidad[33].

Pero llego un momento donde las contrariedades se sumaban como consecuencia de aplicar unos principios de manera generalizada en países con tradiciones muy específicas. Por tanto, se palpó la necesidad de ampliar la

[33] Con la aparición de la Carta de Atenas se inicia una intensa actividad del ICOM y de la UNESCO, creándose el Centro Internacional de Estudio para la Conservación y Restauración de Bienes Culturales.

operatividad de la Carta en un nuevo documento volviendo a examinar los principios regidores con el fin de profundizar en ellos.

4.3.2.2. La Carta de Venecia (1964)

La nueva Carta de Venecia de 1964 viene a regular los principios internacionales de conservación y restauración de las obras monumentales, para adaptarlos a la cultura de cada territorio y aplicarlos teniendo en cuenta su propia idiosincrasia. Partirá de una definición de monumento histórico mucha más amplia, al comprender "tanto la creación arquitectónica aislada, como el ambiente urbano o paisajístico", y una aplicabilidad que se propagaría a otras construcciones más sencillas pero que representaban un alto valor sentimental para la colectividad de la región. En su segundo artículo ya se considera explícitamente la conservación y restauración "una disciplina que se sirve de todas las ciencias y técnicas", pues era incuestionable que contribuirían favorablemente al estudio y a la salvaguardia del patrimonio monumental.

Pero a sus articulados de conservación, restauración y de excavación se le viene a añadir uno exclusivo de documentación y publicación. En él se pone bastante hincapié en la importancia de una "documentación precisa, constituida por informes analíticos y críticos ilustrados con dibujos y fotografías", pero esta exigencia sería ineficaz sino se consigue un adecuado registro y gestión de la misma. Por ello, el mismo artículo 16 llega a revindicar que "todas las fases de los trabajos de liberación, consolidación, recomposición e integración, así como los elementos técnicos y formales identificados a lo largo de los trabajos, deberán ser consignados".

4.3.2.3. La Carta de Cracovia (2000)

Al iniciarse el nuevo milenio, nos encontrábamos con una Europa unificada en un contexto muy diferente al que se palpaba cuando emergió la Carta de Venecia, con un trasiego constante de identidades muy diversas. Los agentes involucrados en la protección del patrimonio, impulsados por los grandes cambios, veían necesario una revisión de los valores elementales de la Carta de Venecia, pero sin alejarse de los mismos objetivos. Es por lo que propusieron unos principios renovados para la conservación y restauración del patrimonio edificado. Nace así una nueva Carta en el año 2000 que marcaba los *Principios para la Conservación y Restauración del Patrimonio Construido.*

La también denominada Carta de Cracovia iba a ser muy innovadora al incluir por primera vez una recomendación específica para el uso de las nuevas tecnologías en el ámbito del patrimonio construido. Al final del quinto artículo se va a introducir el siguiente texto: "En la protección y preservación pública de los sitios arqueológicos, se deben potenciar el uso de modernas tecnologías, bancos de datos, sistemas de información y presentaciones virtuales".

Este hecho, dentro de lo que se ha denominado "Era de la Información", marcará oficialmente el inicio del empleo de las nuevas tecnologías como herramienta muy eficaz en los trabajos frecuentes de conservación y difusión del patrimonio arqueológico y arquitectónico.

4.3.2.4. Carta ICOMOS o Ename Charter (2008)

Otro hecho relevante en el campo de la investigación y la divulgación del patrimonio cultural fue el 4 de octubre de 2008, cuando la organización ICOMOS[34] aprueba oficialmente la Carta para la *Interpretación y Presentación de Sitios de Patrimonio Cultural*, también conocida como Carta de Ename.

Una vez que la comunidad internacional había asumido que la interpretación y la presentación eran piezas fundamentales en la conservación y gestión del patrimonio cultural, el paso siguiente era precisar unos principios esenciales de conservación que funcionaran como herramientas básicas para la apreciación y comprensión del público de los sitios culturales patrimoniales. La Carta establecerá finalmente siete principios fundamentales: 1. Acceso y Comprensión; 2. Fuentes de Información; 3. Atención al entorno y al Contexto; 4. Preservación de la Autenticidad; 5. Plan de Sostenibilidad; 6. Preocupación por la Inclusión y la participación; y 7. Importancia de la Investigación, Formación y Evaluación.

La importancia que se le ha dado a los medios gráficos para la representación y la transmisión de las saberes artísticos que aglutinan las bellas artes es evidente a largo de la historia. Ahora con la nueva Carta se buscaba que la información utilizada para la difusión de los mismos se basara "en evidencias obtenidas a partir de métodos científicos aceptados así como a través de las tradiciones culturales vivas" (Principio 2). Pero en lo que a nosotros nos atañe, habría que destacar el texto que introduce el mismo principio en su apartado cuatro, donde se exhibe la importancia del uso de las "reconstrucciones virtuales" en el campo del patrimonio histórico:

2.4. Las reconstrucciones visuales, ya sean realizadas por artistas, arquitectos o diseñadas mediante ordenador se deben basar en un análisis detallado y sistemático de los datos medioambientales, arqueológicos, arquitectónicos e históricos, incluyendo el estudio de las fuentes escritas, orales e iconográficas, así como de la fotografía. Las fuentes de información en las que se basen tales reproducciones deben documentarse de forma clara y es preciso facilitar reconstrucciones alternativas, cuando esto sea posible, basadas en las mismas evidencias para su comparación (P. 7).

[34] Organización internacional no gubernamental dedicada a la conservación y protección de los sitios del patrimonio cultural. Su labor es promover la aplicación de la teoría, la metodología y las técnicas científicas para la conservación del patrimonio arquitectónico y arqueológico, basado en los principios consagrados en la Carta Internacional sobre la Conservación y Restauración de Monumentos y Sitios (la Carta de Venecia) 1964. Funciona como una gran red de expertos que se beneficia del intercambio interdisciplinario de sus miembros, entre los que destacan arquitectos, historiadores, arqueólogos, historiadores del arte, geógrafos, antropólogos, ingenieros y urbanistas. <http://www.icomos.org/index.php/en/about-icomos/mission-and-vision/mission-and-vision>.

Su inclusión constituirá un nuevo paso muy importante en la línea de buscar un marco deontológico para las presentaciones virtuales del patrimonio, y que viene a profundizar en lo que la anterior Carta de Cracovia considera como herramientas potenciales para la conservación y difusión del patrimonio construido.

Fig. 37 y Fig. 38. Las dos imágenes infográficas muestran dos hipótesis diferentes de composición de la fachada del palacio privado de Don Pedro. Fuente: Concepción Rodríguez Moreno. *El Palacio de Pedro I. Reales Alcázares de Sevilla. Estudio y Análisis*. Tesis Doctoral. 2011.

4.3.3. El campo de la realidad virtual en el siglo XXI

Desde la última década del siglo XX han ido proliferando términos como informática gráfica, infografía o técnicas infográficas aplicadas a la arquitectura, que se han asumido como acrónimos habituales de las últimas técnicas de representación gráfica de la edificación. Esta corriente se ha difundido a otras áreas cercanas por su gran potencial, estando cada vez más presente en el campo del patrimonio cultural. Hoy nos podemos encontrar en la *Carta de Sevilla International Virtual Archaeology*[35], el término de Arqueología Virtual entre otros, definiéndola como "la disciplina científica que tiene por objeto la investigación y el desarrollo de formas de aplicación de la visualización asistida por ordenador a la gestión integral del patrimonio arqueológico".

Fig. 39. Web http://www.sevilleprinciples.com/ donde se expone los Principios Internacionales de la Arqueología Virtual. Carta de Sevilla. Proyecto internacional liderado por la SEAV.

La era de la información digital está cada vez más presente en nuestra vida diaria y la sociedad en general está muy vinculada con todas las técnicas multimedia de difusión, para promocionar actividades recreativas, eventos deportivos, animaciones en el campo del cine y la transmisión de la educación en aulas. Pero también en la difusión del patrimonio cultural en todas sus vertientes, abarcando un campo de actuación amplísimo: videos explicativos, CD-ROM interactivos, biblioteca de imágenes reconstructivas de monumentos, paneles táctiles informativos, gran variedad de aplicaciones multimedia y navegadores 3D con recorridos virtuales que nos permiten explorar el edificio; así como experimentar en salas expositivas con la realidad inversiva, que nos trasladarán en el espacio para situarnos en auténticos lugares del pasado.

Es indiscutible el gran potencial de los nuevos medios digitales está bastante evidente por el carácter divulgativo de nuestra historia, pero no hay que olvidar su aplicación a la investigación por su gran valor científico. Hoy más que nunca hay que saber cómo usar esta realidad virtual en nuestra realidad cotidiana para que no se pierda la identidad cultural heredada del hombre, más aun cuando la velocidad que está adquiriendo el campo de la *arqueología virtual* -llamémosle también recreación virtual, tecnologías ópticas aplicadas a la visualización y

[35] Los Principios Internacionales de la Arqueología Virtual, conocidos como Los Principios de Sevilla, han sido publicado en el año 2012 por el Forum Internacional de Arqueología Virtual. El primer borrador de la Carta de Sevilla fue presentado por la Sociedad Española de Arqueología Virtual en el II Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación, Arqueológica 2.0 Sevilla, 2010. <http://www.arqueologiavirtual.com/carta/?page_id=437>

presentación 3D, o realidad aumentada[36], la tecnología más reciente para la difusión del patrimonio-, hace que se nos escape a simple vista.

En cuanto a ésta última, hagamos mención a la Realidad Aumentada para Museos o Visor RAM, un sistema interactivo que permite al visitante integrar en tiempo real los contenidos virtuales sobre los restos o ruinas de una exposición. A medida que el visitante orienta el visor, se realiza un tracking de la posición y perspectiva de la cámara, permitiendo al modelo 3D conservar la misma perspectiva que la del entorno real (FLORES et al., 2010)[37]. Aunque con los últimos progresos de la realidad aumentada, fruto de un incesante trabajo de investigación y desarrollo, se ha acercado aún más a los ciudadanos al incorporarse en dispositivos móviles.

Fig. 40. Dispositivos para la realidad aumentada en visitas a museos y lugares del Patrimonio Histórico. Ensayo de Realidad Aumentada presentado por la Universidad Politécnica de Valencia en la Capilla Mayor de la Catedral. Imagen real de la capilla mayor en la actualidad (izq.) e imagen aumentada (dcha.) que se muestra en las gafas de Realidad Aumentada con los objetos virtuales añadidos. Fuente: Portalés, 2009, p. 325.

Estos continuados avances en las TIC han originado muchas nuevas vías para introducirse en la investigación. Así, en el año 2011, el doctorando Alberto Sánchez presentó el proyecto de tesis *Realidad aumentada en dispositivos móviles y su aplicación en la interpretación del patrimonio histórico*[38]. La propuesta pretendía la integración documental de las fuentes archivísticas, de las excavaciones realizadas y todos sus datos (croquis, planimetrías, fotografías georreferenciadas), de los levantamientos (fotogramétricos y con escáner láser) y de modelos 3D, en un SIG patrimonial y su publicación mediante realidad virtual y

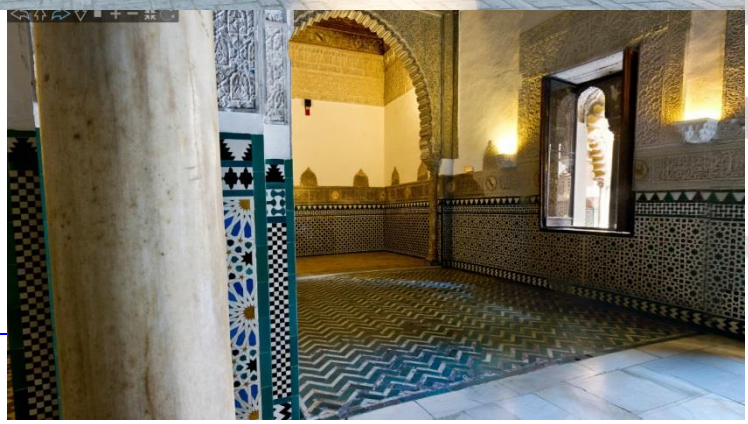
[36] Consiste en un conjunto de dispositivos que añaden información virtual a la información física ya existente. Esta es la principal diferencia con la realidad virtual, puesto que no sustituye la realidad física, sino que sobreimprime los datos informáticos al mundo real.
[37] El Departamento de Informática y Sistemas de la Universidad de Murcia llevan años investigando en la Realidad Aumentada. El proyecto del visor RAM pretende la mejora y la evolución de los interactivos para exposiciones de interior de museos, permitiendo fusionar los contenidos virtuales 3D con la imagen real.
[38] Programa de Doctorado en Gestión y Valoración Urbana, 2010-2011. Universidad Politécnica de Cataluña, UPC. Departamento CAI. Director: Dr. Ernesto Redondo Domínguez y Tutor: Dr. Arq. Josep Roca Cladera.

aumentada sobre dispositivos de telefonía móvil y netbooks escolares. El proyecto se le denominó "Gerunda SIG3D."

Fig. 41. Imagen de referencia que una vez reconocida descarga un vídeo explicativo en el dispositivo móvil. Ensayos basados en el reconocimiento de imágenes del entorno real. Fuente: Proyecto de Tesis de Alberto Sánchez. UPC. CAI. 2011

Otra muestra de la importancia que organismos públicos (ayuntamientos, diputaciones, comunidades autónomas, ...) han dado a la difusión de su rico patrimonio histórico es la oferta, cada vez más amplia, que se nos ofrece por diferentes portales de internet para realizar recorridos virtuales por un edificio con altos valores arquitectónicos. Es el caso de la *Visita Virtual 360º* que oferta el Patronato del Alcázar de Sevilla, permitiendo al visitante virtual navegar y posicionarse en una imagen esférica usando el ratón o a través de los controles en pantalla.

Fig. 42. a) Visita virtual al Cenador de la Alcoba (Carlos V)



b) Desde la página http://www.alcazarsevilla.org/?page_id=17 se puede acceder a las visitas virtuales en 360º de los distintos espacios del Real Alcázar de Sevilla

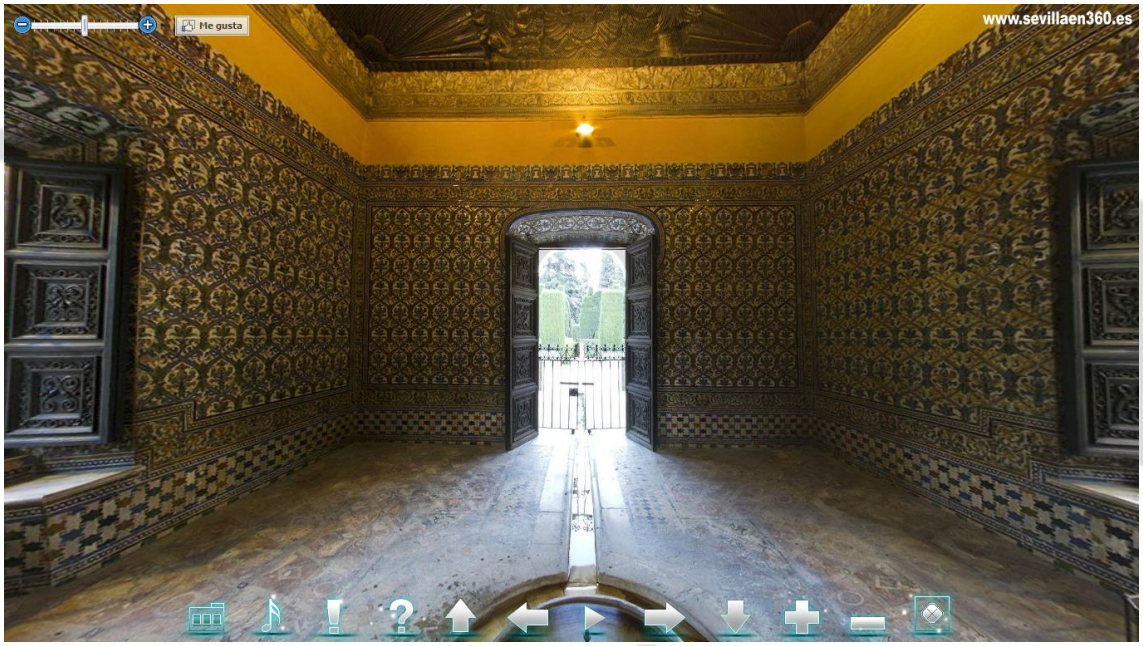


Fig. 43. Recorrido virtual por el interior del Cenador de Carlos V.
http://www.sevillaen360.es/esfericas/alcazar55/alcazar55.html

Este tipo de sistemas, con contenidos multimedia para la propagación de la arquitectura histórica, están aflorando en muchos países con una gran herencia patrimonial. Citemos entre ellos a la Capilla Sixtina, con la posibilidad de acceder públicamente desde la red a una visita virtual del interior de la capilla con una altísima calidad fotográfica. Este trabajo es fruto de una investigación de la universidad Villanova de Pensilvania, como ensayo previo a un proyecto más científico que busca una réplica del monumento para su exploración tridimensional. Estas visitas le permiten al internauta una contemplación de la arquitectura espacial con exploración de pavimentos, revestimientos y frescos entre otros detalles, que sobrepasan el simple carácter divulgativo para entrar como herramienta de apoyo en las labores del campo disciplinar.

Fig. 44. Acceso desde: http://www.vatican.va/various/cappelle/sistina_vr/index.html

Es esta posibilidad la que ha revolucionado el campo de la documentación como medio de difusión del conocimiento de los bienes culturales. De forma que

un encargo de actuación en el Patrimonio no queda finiquitado con elaborar una documentación técnica sino además hay que hacerla accesible al ciudadano de forma divulgada, facilitando la comprensión de aquellos valores y aspectos particulares que las investigaciones han conseguido desvelar. Y serán las nuevas tecnologías informáticas en captura y modelado tridimensional las herramientas que produzcan esas verdaderas réplicas virtuales con las que generar "productos" de visualización estereoscópica y de realidad aumentada, haciendo posibles diferentes y profundas aproximaciones al bien representado (SAN JOSÉ, 2011:111).

4.3.4. La visualización tridimensional en la investigación y divulgación del patrimonio cultural

Como hemos comentado anteriormente, las posibilidades de los nuevos métodos de visualización están en constante aumento, aplicándose en la industria de la realidad virtual en infinidad de contextos, como es el caso de la creación de excelentes productos de entretenimiento de masas. De igual modo, el procedimiento de la visualización tridimensional está siendo utilizado cada vez más en trabajos de investigación, preservación y, sobre todo, en la divulgación del patrimonio en general.

Como uno de los excelentes trabajos en este campo encontramos a los nuevos recursos de difusión en el nuevo Museo del Conjunto Arqueológico Madinat al-Zahra. Con miras a la mejor interpretación de la ciudad califal se realizó un audiovisual con imágenes infográficas basado en los resultados de las investigaciones de las últimas décadas, ofreciendo una exposición científica y rigurosa de la arquitectura de la medina que estuviera accesible a cualquier público. "Esta herramienta se convierte así en un poderoso instrumento para la transferencia del conocimiento desde el ámbito de la investigación hacia la sociedad" (MONTILLA Y VALLEJO, 2012).

Fig. 45. a) Vivienda de la Alberca. Reconstrucción con la imagen actual de uno de sus capiteles. b) Reconstrucción virtual del Salón de Abd al-Rahman III.

Fuente: Revista VAR, Vol. 3, Nº 6, pp. 7-11. 2012.

Pero el caso expuesto no ha sido algo habitual en el uso de las nuevas técnicas de representación. Los métodos estipulados por la comunidad de expertos y que

se han empleado en la investigación y divulgación del patrimonio cultural han sufrido una constante revisión a través de continuados debates metodológicos y teóricos. En cambio, los resultados de la visualización tridimensional, no han experimentado tal proceso analítico, dando lugar en ocasiones a inadecuadas interpretaciones gráficas.

Por la necesidad de asegurar un trabajo científico y riguroso, y para hacer efectivo todo el potencial que encierra este campo, era necesario establecer criterios que respondieran a las propiedades particularidades de las representaciones en 3D, como identificar otros criterios que debían compartirse con demás métodos. Surge así en el año 2006 la idea de elaborar una Carta específica para el *Uso de la Visualización Tridimensional en la Investigación y Divulgación del Patrimonio Cultural* o Carta de Londres. En ella se dictarán los Principios de comunidad disciplinar, propósitos y métodos, fuentes, requisitos de transparencia, documentación, criterios, sostenibilidad y acceso[39].

La complejidad del patrimonio viene motivada por la necesidad de un análisis interdisciplinario previo en busca de una solución consensuada. Tarea nada fácil, pues se parte de convenciones específicas de cada disciplina participativa, que en ocasiones se ven contrapuestas con otras no menos válidas. Por ello era preciso confeccionar "un conjunto de principios que aseguren que la visualización del patrimonio cultural se lleva a cabo como un trabajo intelectual y técnicamente riguroso así como metodológicamente mucho más sólido"[40].

[39] *The London Charter for the Computer-based Visualisation of Cultural Heritage*. El último Borrador 2.1 se llegará a aprobar el 7 de febrero de 2009, con el nombre de CARTA DE LONDRES PARA LA VISUALIZACIÓN COMPUTARIZADA DEL PATRIMONIO CULTURAL.

[40] Preámbulo de la Carta de Londres. Destáquese las iniciativas del Virtual Archaeology Special Interest Group (VASIG) y la Cultural Virtual Reality Organisation (CVRO), donde se subraya "la importancia de garantizar que los métodos de visualización tridimensional sean aplicados con rigor académico, y que cuando la investigación comprenda la representación 3D, esta debe dar a entender de un modo preciso a los usuarios las diferencias entre evidencia e hipótesis así como entre los distintos niveles de probabilidad".

Fig. 46 y Fig. 47. Las imágenes muestran dos hipótesis distintas de la planta alta de la crujía Sur (lateral izquierdo) en el Patio de Las Doncellas. Al fondo el Salón del Trono con la qubba emergente. Fuente: Concepción Rodríguez Moreno. *El Palacio de Pedro. Reales Alcázares de Sevilla. Estudio y Análisis*. Tesis Doctoral. 2011.

4.3.4.1. Los principios de La Carta de Londres (2009)

Si analizamos los preceptos de la Carta de Londres del 2006 y los comparamos con el último borrador veremos que las modificaciones, exclusiones y síntesis de los contextos son numerosas, muestra de que se abrió un amplio debate fructífero para una nueva disciplina que penetraba con mucha fuerza en el campo del patrimonio cultural, pero vacía de unas bases deontológicas que la sustentara científicamente. En el año 2009 se moldeará la definitiva la Carta de Londres con los principios de Implementación, Propósitos y métodos, Fuentes de la investigación, Documentación, Sostenibilidad y Acceso.

Las contrapuestas actualizaciones acaecidas, revelaban que era necesario declarar unas recomendaciones fundamentales como base para diseñar proyectos con un rigor consolidado dentro de la comunidad multidisciplinar. El concepto que se introduce del Patrimonio Cultural es muy amplio y sobrepasa al sólido esquema del patrimonio monumental al incorporar nuevos espacios: arqueológico, artístico, documental, etnográfico, industrial, de tradiciones y hasta el expresado verbalmente.

Era, por tanto, una necesidad imperante desarrollar de forma más detallada criterios, principios, recomendaciones y guías adaptada a las necesidades específicas de cada campo disciplinar o área temática. Así, el Principio 1: *Implementación*, dicta que "cada comunidad de expertos, ya sea académica, educativa, conservativa o comercial, debe desarrollar las directrices de implementación de la Carta de Londres de manera coherente con sus propias pretensiones, objetivos y métodos (1.1.).

Inicialmente, en el segundo principio de la Carta sobre *Propósitos y Métodos*, se declara la gran diversidad de técnicas de visualización tridimensional que están al alcance de los investigadores, recalcando que ninguna de las opciones es básicamente "buena" o "mala". Su apartado 2.3, en último término, "reconoce que, (…), no es siempre posible determinar "a priori" el método de investigación más apropiado (por ejemplo: fotorrealista o esquemático, con un nivel de detalle alto o bajo, representando las distintas hipótesis o solo la evidencia disponible, estática o interactiva, general o precisa…)". Lo fundamental pues es que el método propuesto de visualización (tridimensional o adjetivada como computarizada, aunque optaríamos mejor por el término "digital"), previamente evaluado, sea adecuado al objetivo prefijado.

La Carta pone bastante hincapié en que los métodos y resultados de la visualización estén sustentados en una probidad científica, donde "las *Fuentes* más relevantes usadas en el proceso *de investigación* deben de ser identificadas y evaluadas de una manera estructurada y documentada". Este tercer Principio considera fundamental que se analicen las posibles afecciones de los recursos visuales por factores exógenos del tipo ideológico, histórico, social, religioso o estético.

Pero si la documentación recabada debe ser importante, no menos la que nos facilite las técnicas de representación digital, para lograr que la visualización quede enclavada dentro de los contextos inicialmente marcados, sin que den a pie a malas interpretaciones:

Se deben diseñar estrategias de *Documentación* que permitan análisis y evaluaciones comparativas rigurosas de las visualizaciones computarizadas, y para facilitar el reconocimiento y descripción de los resultados (Principio 4.2).

Pensemos en una reconstrucción virtual de un edificio histórico basada en restos arqueológicos encontrados donde se barajan varias hipótesis interpretativas en un determinado sector. Es muy importante que en la visualización queden bien identificados los elementos perturbados por "cualquier incertidumbre factual" (4.4). La metodología empleada, pues, debe quedar perfectamente documentada y difundida a la comunidad científica para disponer de la estimación desde diferentes perspectivas u otros campos disciplinares, y para proveer el seguimiento de posteriores investigaciones.

Se establece en el cuarto principio un apartado preciso para definir el proceso de documentación, por su gran relevancia dentro de la Carta, identificándolo con el término de *Paradatos*[41]:

> Se debe divulgar toda la documentación relativa a las decisiones estimativas, analíticas, deductivas, interpretativas y creativas tomadas en el transcurso de la visualización computarizada, de tal manera que la relación existente entre fuentes de la investigación, conocimientos implícitos, razonamientos explícitos y resultados de la visualización puedan ser plenamente comprendidas (4.6).

Aunque la Carta va más allá de la divulgación de la información y profundiza en el desarrollo de estrategias que aseguren la salvaguardia y el mantenimiento de los resultados de las visualizaciones computarizadas del patrimonio cultural. Así, el principio de *Sostenibilidad* llega a recoger que:

> Las estrategias de conservación digital deben ayudar a preservar los datos de las visualizaciones computarizadas, (…), asegurar la supervivencia de suficiente información como para permitir su uso en el futuro. En este sentido puede resultar de gran eficacia guardar y trasladar la información a diferentes formatos o software (5.2.).

El sexto principio de *Acceso* se establece para apoyar una visualización computarizada que contribuya de manera rigurosa y plena al estudio, interpretación y gestión de los bienes culturales, uno de los objetivos primordiales marcados por la Carta de Londres. Este principio nos obliga a considerar el gran

[41] Los paradatos incluyen las descripciones acumuladas en el interior de un archivo estructurado sobre qué tipo de pruebas o evidencias se usaron para interpretar un artefacto, o los comentarios sobre las premisas metodológicas en el interior de una publicación científica. Es muy similar, pero diferente en cuanto al énfasis, a los "metadatos contextuales" que tienden a comunicar interpretaciones de un artefacto o colección, en lugar del proceso a través del cual uno o más artefactos son procesados o interpretados.

papel que la visualización 3D puede asumir en el mejor acercamiento al patrimonio cultural, facilitando "el acceso de investigadores y usuarios al patrimonio cultural, en la medida en que muchas veces este patrimonio se torna inaccesible por causas de salud, seguridad o minusvalía,(…), o simplemente porque el objeto representado se ha perdido, ha sido destruido, está en peligro o disperso, o se encuentra en pleno proceso de reconstrucción o restauración"(6.1).

Hemos visto como la Carta de Londres viene a introducir principalmente los fundamentos básicos para la representación virtual y rigurosa del patrimonio. No obstante, deja al final un lugar para destacar la gran potencialidad de la visualización tridimensional, tanto para los usuarios como para la investigación, indicando nuevas vías de desarrollo a modo de predicción y que ahora son tema de actualidad. Así, del último apartado extraemos el siguiente texto:

> (…). En este sentido las visualizaciones computarizadas ofrecen la posibilidad de estudiar los cambios a lo largo del tiempo, de ampliar, modificar y/o manipular objetos virtuales, de integrar en sistemas compartidos datos e información, y finalmente de efectuar una distribución global instantánea (6.2).

Asuntos que podemos casar con temas que quedarán ampliamente expuestos en capítulos sucesivos, como es el mantenimiento y el ciclo de vida del edificio histórico, y el gran aporte de los nuevos sistemas de información.

4.3.5. La Informática gráfica aplicada al patrimonio arqueológico

Otro de los objetivos de la Carta de Londres era "ofrecer unos sólidos fundamentos sobre los que la comunidad de especialistas pueda elaborar criterios y directrices mucho más detalladas". Era, por tanto, deber de cada campo disciplinar establecer los principios específicos que regulasen los trabajos de la disciplina[42]. El primer movimiento surgido en España con miras a profundizar en el desarrollo y aplicabilidad de la Carta se concreta en la creación de la Sociedad Española de Arqueología Virtual. También denominada por sus siglas S.E.A.V., se constituye por iniciativa de un grupo de investigadores del campo de la arqueología de "síntesis" o virtual, motivados inicialmente por el potencial que transporta las representaciones virtuales y su gran aporte al fortalecimiento y difusión de la arqueología como el mejor deponente de nuestro patrimonio histórico.

Una de las iniciativas principales de la SEAV era promover un encuentro científico que examinara las técnicas de reconstrucción y visualización por ordenador aplicadas al patrimonio arqueológico, buscando la mejor implantación de La Carta de Londres en el campo específico del patrimonio arqueológico. Nace así

[42] Véase el punto 1.1 del principio de Implementación de la Carta de Londres.

el *I Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación,* Arqueológica 2.0[43], donde "plantear un debate teórico de implicaciones prácticas que permita a los gestores del patrimonio aprovechar lo mejor que las nuevas tecnologías pueden ofrecernos en este campo, minimizando las aplicaciones que no tengan un fundamento científico contrastado".

Fig. 48. Cartel de presentación de la SEAV, mostrando las diferentes iniciativas abiertas: Congreso Arqueológica 2.0, Revista VAR, International Forum of Virtual Archaeology, e International Principles Of Virtual Archaeology de la Carta de Sevilla.

La SEAV la integran especialistas pertenecientes a diversas disciplinas relacionadas con el patrimonio construido, formando un grupo multidisciplinar de expertos en el uso de las últimas tecnologías en levantamiento y representación virtual de la arqueología y la arquitectura[44]. La asociación tiene actualmente una extensa y fructífera actividad con el *Forum Internacional de Arqueología Virtual*, un foro que reúne a expertos de diferentes países. Lo más relevante de los continuados e intensos debates abiertos ha sido la publicación definitiva de los *Principios Internacionales de La Arqueología Virtual o Principios de Sevilla*[45].

Fig. 49. El desplegable de la International Principles Virtual Archaeology muestra las diferentes etapas por la que ha pasado la Carta de Sevilla.

[43] Con el desarrollo de la mesa de ponencias "Reflexiones en torno a La Carta de Londres", tres de sus creadores, Juan A. Barceló de la Universidad Autónoma de Barcelona, Richard Beacham del King's Visualisation Lab. King's College. Londres y Sorin Hermon del Digital Cultural Heritage and Archaeological Sciences de Chipre, asumieron la iniciativa de crear el congreso internacional ARQUEOLÓGICA 2.0.
[44] Actualmente la asociación SEAV la integran arqueólogos, arquitectos, informáticos, infógrafos, grupos de investigación de universidades españolas y empresas e instituciones que velan por el Patrimonio arqueológico
[45] El borrador final de la llamada Carta de Sevilla se publicó en inglés y español en el año 2012.

Hay que destacar que las cinco ediciones de Arqueológica 2.0 han supuesto para la comunidad científica multidisciplinar un foro idóneo para la presentación de las últimas investigaciones en la representación virtual del patrimonio histórico, sea arqueológico o arquitectónico; pero también para involucrar a entidades privadas especializadas en las últimas tecnologías de levantamiento gráfico del patrimonio histórico[46]. Pensemos que cuando se adjetiva al patrimonio como arqueológico, término empleado por ser una iniciativa de especialistas del área de expresión gráfica en arqueología, se piensa en un patrimonio construido, por lo que se amplifica a todas aquellas disciplinas que tienen una relación con lo arquitectónico: arquitectura, ingeniería de edificación e ingeniería gráfica.

4.3.5.1. Principios básicos deontológicos de la Carta de Sevilla

Los principios Básicos de la Carta de Sevilla, han supuesto más de cuatro años de propuestas y debates para consensuar las normas deontológicas para la visualización asistida por ordenador del patrimonio arqueológico y arquitectónico. Estas bases se concretan en ocho principios: Interdisciplinariedad, Finalidad, Complementariedad, Autenticidad, Rigurosidad Histórica, Eficiencia, Transparencia Científica, Formación y Evaluación.

Un análisis de los-principios nos asentaría en el estado de la cuestión de las últimas técnicas de visualización y su aplicabilidad al patrimonio construido con gran rigor y consenso de la comunidad científica. Respecto a esto último, el primer principio de *Interdisciplinariedad* es fundamental incluso cuando el trabajo implique la utilización de nuevas tecnologías de representación asistida por ordenador, para buscar una solución consensuada por todos los miembros del equipo y colaboradores procedentes de otras disciplinas: arqueólogos, historiadores, arquitectos, informáticos e ingeniero. Su apartado 1.2 nos indica que:

> Un trabajo verdaderamente interdisciplinar implica el intercambio de ideas y opiniones entre especialistas de distintos campos de una manera habitual y fluida. El trabajo dividido en compartimentos estanco nunca podrá ser considerado como interdisciplinar aunque participen en él expertos procedentes de distintas disciplinas.

También es primordial saber cuál va a ser la *Finalidad* última de nuestro trabajo de visualización asistida por ordenador, aunque habría que puntualizar que el núcleo del proyecto debe de mantenerse siempre firme como un sustento seguro. Por tanto, los "diferentes niveles de detalle, resolución y precisión" serán los elementos que se añadirán como parte específica del objetivo último, para "mejorar aspectos relacionados o bien con la investigación, o bien con la conservación o bien con la difusión del patrimonio arqueológico" (principio 2.1).

[46] La 6ª edición de Arqueológica 2.0 está prevista celebrarse en Ciudad Real, octubre de 2013.

El principio 3 de *Complementariedad* viene a apaciguar algunos malestares de la comunidad científica por trabajos realizados a través de la representación virtual sobre sitios patrimoniales muy emblemáticos. La visualización asistida por ordenador no puede suplantar los "métodos y técnicas en el campo de la gestión integral del patrimonio arqueológico (por ejemplo, la restauración virtual no debe aspirar a sustituir a la restauración real al igual que la visita virtual no debe aspirar a sustituir a la visita real)" (3.1). Es por lo que en el siguiente apartado se destaca la importancia de un trabajo colaborativo e Interdisciplinar tanto en conocimientos como en técnicas "que ayuden a mejorar los actuales procesos de investigación, conservación y difusión del patrimonio" (3.2).

Lo que sí está aceptado plenamente por la comunidad científica el carácter sustitutivo de las visualizaciones digitales en casos de extrema urgencia: cuando los vestigios arqueológicos o arquitectónicos se hayan perdido o han sido demolidos, o corran riesgo de deterioro ante la excesiva explotación turística (como es el caso de las pinturas rupestres) (3.3).

En cuanto al cuarto precepto, se presenta a la *Autenticidad* como el mejor pasaporte para que la visualización del patrimonio arqueológico y arquitectónico esté abalado científicamente, evitando las reconstrucciones y recreaciones poco fundamentadas:

> (…) la visualización asistida por ordenador debe ayudar tanto a los profesionales como al público a diferenciar claramente entre: los restos que se han conservado "in situ", los restos que han vuelto a ser colocados en su posición originaria (anastylosis real), las zonas que han sido reconstruidas parcial o totalmente sobre los restos originales, y finalmente las zonas que han sido restauradas o reconstruidas virtualmente (4.3).

El principio de *Rigurosidad histórica* debe envolver a cualquier trabajo de visualización del patrimonio construido, aunque ello "dependerá tanto de la rigurosidad con la que se haya realizado la investigación previa como de la rigurosidad con la que se use esa información para la creación del modelo virtual" (5.1).

En este contexto, el quinto principio quiere resaltar la importancia de utilizar una documentación *precisa* del patrimonio construido para que pueda ser gestionada eficazmente. Por ello, incide en que "las nuevas técnicas como la fotogrametría o los escáneres láser pueden servir para aumentar la calidad de la documentación científica, ya que cuanto mejor sea la documentación del patrimonio arqueológico realizada mayor será rigurosidad histórica obtenida" (5.4).

Más adelante se abrirá un apartado para las técnicas gráficas de levantamiento y representación, donde hablaremos de la obligatoriedad de una objetividad en la representación del patrimonio arquitectónico para disponer de una información válida para todos los especialistas intervinientes.

En el Principio 7 de *Transparencia científica* se nos recuerda que cualquier trabajo de visualización del patrimonio debe seguir pautas de rigor científico y académico idénticas a las de cualquier proyecto de investigación, "en las que quede recogido y expresado con total transparencia todo el proceso de trabajo desarrollado: objetivos, metodología, técnicas, razonamientos, origen y características de las fuentes de la investigación, resultados y conclusiones"(7.1). Siendo igual de importante la divulgación de los resultados, tanto a la comunidad científica como a la sociedad en general (7.2).

Pero lo más innovador de este principio es la importancia que se le da a la información no gráfica vinculada a la visualización del patrimonio, conocidos como metadatos y paradatos, éstos últimos recogidos en el cuarto principio de la Carta de Londres en su apartado 4.6, para asegurar la transparencia científica de cualquier proyecto: "Los metadatos y paradatos deben ser claros, concisos y fáciles de consultar pero al mismo tiempo deben tratar de proporcionar la mayor cantidad de información posible"(7.3). Este inciso en la información *alfanumérica* es una base fundamental en el estado de la cuestión de esta tesis y va a significar un pilar imprescindible en el desarrollo del proyecto de investigación.

El último principio de la Carta de Sevilla dedicado a *Formación y Evaluación* también nos ha servido de guía esencial en el arranque de la Tesis. De los objetivos marcados al inicio diríamos que la síntesis principal de este proyecto es servir como instrumento de investigación y a su vez de conservación del patrimonio arqueológico y arquitectónico. Y no hay nada mejor para poner a prueba tus nuevas inquietudes y experiencias habidas que presentarlas a la comunidad científica para su aprobación.

4.3.6. El recorrido de las aplicaciones informáticas de diseño asistido por ordenador

Tenemos que retroceder hasta la década de los sesenta para visualizar los primeros avances en el diseño gráfico por computadora. Unos años antes, en 1955, aparece el primer sistema gráfico bautizado como SAGE (Semi Automatic Ground Environment)[47], que desarrolla el Lincoln Laboratory del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) para el ejército del aire norteamericano -US Air Forces. Este mismo laboratorio va a tener un gran protagonismo en años sucesivos en nuevos avances, pues el profesor Ivan Sutherland[48] perteneciente al Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), establecerá en el año 1962 las bases para los gráficos interactivos por ordenador, como los conocemos actualmente. En él se desarrolla el sistema "Sketchpad", una verdadera revolución hasta entonces, pues propone utilizar un teclado y un lápiz electrónico para dibujar y manipular los objetos representados en la pantalla. Aquí nacerá la llamada "Programación Orientada a Objetos", la primera estructura de datos que empleaba una topología del propio objeto que se representaba, describiendo todas las relaciones entre las diferentes partes que lo componían.

A partir de este momento la representación gráfica del objeto realizada en el ordenador no se basaría en el dibujo propiamente dicho, sino en su posición y la relación con los demás objetos en el espacio. El nuevo sistema Sketchpad diferenciaba claramente el dibujo que mostraba la pantalla con el propio objeto insertado en la base de datos del sistema.

Un año más tarde, 1963, el ordenador ya era capaz de calcular las aristas que delimitaban al objeto desde la perspectiva del observador, eliminando aquellas otras líneas ocultas según la proyección tomada, pero siempre con las limitaciones que marcaba la velocidad y la capacidad de los computadores de entonces. Comienza así la implementación del nuevo sistema gráfico computarizado, siendo los primeros en tomar el testigo los investigadores de las universidades americanas.

El primer sistema de representación exclusivo para la edificación lo desarrolla el profesor Charles Eastman, de la Universidad Carnegie Mellon, conocido como BDS (Building Description System). Basado en una variada biblioteca de elementos arquitectónicos o técnicas constructivas, el sistema permitiría al usuario encajarlos adecuadamente para construir el modelo y mostrarse sobre la pantalla completa una vez finalizado el diseño arquitectónico.

[47] El Sistema consistía en procesar los datos del radar y demás informaciones de localizaciones de objetos para poderlas visualizar en una pantalla de tubos de rayos catódicos o CRT.

[48] Es considerado el creador de los gráficos de la computadora. Su tesis doctoral "A Machines Graphics Comunications System", servirá como base del sistema *Sketchpad*. Ha contribuido con numerosas ideas al estudio de los gráficos de la computadora y de la interacción de la computadora. Ivan Sutherland introdujo conceptos tales como el modelado tridimensional de la computadora, simulaciones visuales, diseño automatizado (CAD) y realidad virtual.

Aunque la aparición del primer sistema de diseño asistido por computadora, el conocido actualmente como CAD, no llegará hasta el año 1965, basado en ITEK Control Data Corp. La carrera no ha hecho más que empezar, desencadenándose una serie de acontecimientos en años sucesivos con importantes avances en la representación computarizada, que motivará la introducción del nuevo sistema poco a poco en las diferentes industrias de ingeniería de Estados Unidos. A modo de información se relacionan las fechas más importantes:

- 1965: A. R. Forrest realiza la intersección de dos cilindros, derivado de una primera investigación con el sistema de representación CAD.
- 1969: la empresa Computervision desarrolla el primer trazador electrónico o plotter.
- 1970: empresas del mundo aeroespacial y del automóvil (General Motors, Lookheed, Chrysler, Ford) comienzan a utilizar sistemas CAD.
- 1975: se desarrolla el primer sistema CAD/CAM de la mano de AMD (Avion Marcel Dassault), y la empresa Textronic incorpora la primera pantalla de 19 pulgadas.
- 1979: nace el primer formato estándar de intercambio de datos IGES (Initial Graphics Exchange Standard) desarrollado por Boeing, General Electric y NIST.
- 1980: nace Matra Datadivision y la española Investrónica, con desarrollos CAD y CAM en el sector textil-confección.
- 1981: se funda Dassault System y se inicia el camino en la tercera dimensión o 3D al crearse la empresa 3D/Eye Inc. También Unigraphics comercializará Unisolid, el primer sistema de modelado sólido sobre un ordenador PADL-2.
- 1982: Un grupo de investigadores encabezados por John Walker funda la empresa Autodesk con la intención de producir un programa CAD para los computadores personales y con un coste asequible por el consumidor. Nacerá en noviembre de ese mismo año el muy extendido software AutoCAD, el cual ha sido hasta nuestros días la herramienta de CAD más utilizada en España[49].

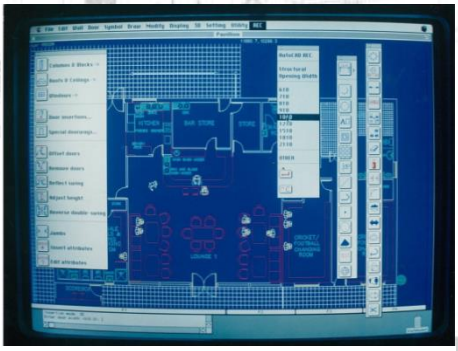


Fig. 50. Interfaz de las primeras versiones de AutoCAD

[49] *Modelo integrado de información del edificio*. Rocío Quiñones Rodríguez, 2009. Trabajo de Fin de Máster de la Universidad de Sevilla, curso 2008-2009.

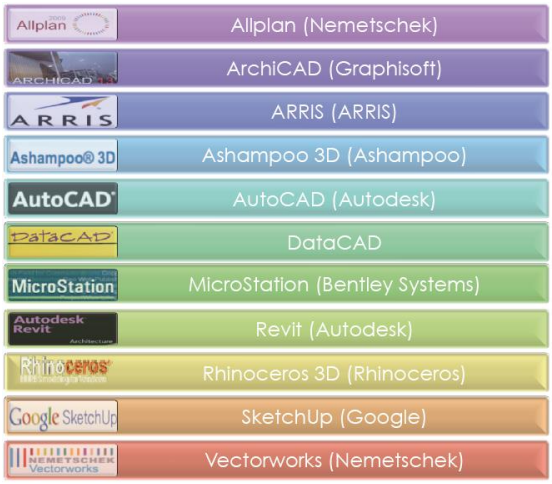


Fig. 51. Aplicaciones CAD utilizadas en arquitectura. Fuente: Rocío Quiñones, TFM Universidad de Sevilla, 2009.

4.3.7. La evolución del CAD hacia la tercera dimensión

Está claro que la era de la informática supuso un antes y un después en la tecnología gráfica. Dibujar con un ordenador era un cambio abismal e impensable épocas atrás al compararlo con las técnicas tradicionales de dibujo manual.

Ahora sería impensable trabajar sin los programas de CAD en cualquier disciplina donde fuese necesario el requerimiento de una documentación gráfica (arqueología, arquitectura, restauración o cualquier ingeniería), pero si analizamos bien, el operario del software gráfico sigue trabajando como en antaño, en cuanto que la herramienta solamente nos permite una representación vectorial del objeto observado, utilizando las mismas líneas, arcos, tramas, pero de manera muy precisa.

En este período transitorio de x+y, se ha ganado en la precisión de la transferencia, agilidad y almacenamiento de los datos. Esto es, utilizar un tablero gráfico o simplemente un ratón electrónico en vez de un lápiz de grafito para introducir las coordenadas que definirán los elementos lineales, como vectores en el espacio, y pasar dichos datos a la pantalla de un ordenador, cuando antes se utilizaba una hoja de papel como soporte de la representación gráfica. El problema principal está en que la documentación con la que se trabaja no conserva ninguna relación entre sus partes. Se intenta representar un objeto definiendo sus tres proyecciones diédricas pero pueden que éstas sean incoherentes entre sí.

A estas representaciones en papel, cualquier buen proyectista siempre les ha acompañado una maqueta de cartón o madera, que ha servido inicialmente para comprender el proyecto y facilitar el trabajo posterior, tanto desde la concepción del proyecto, plasmado en los primeros bocetos, como en las últimas fases de revestimientos y color.

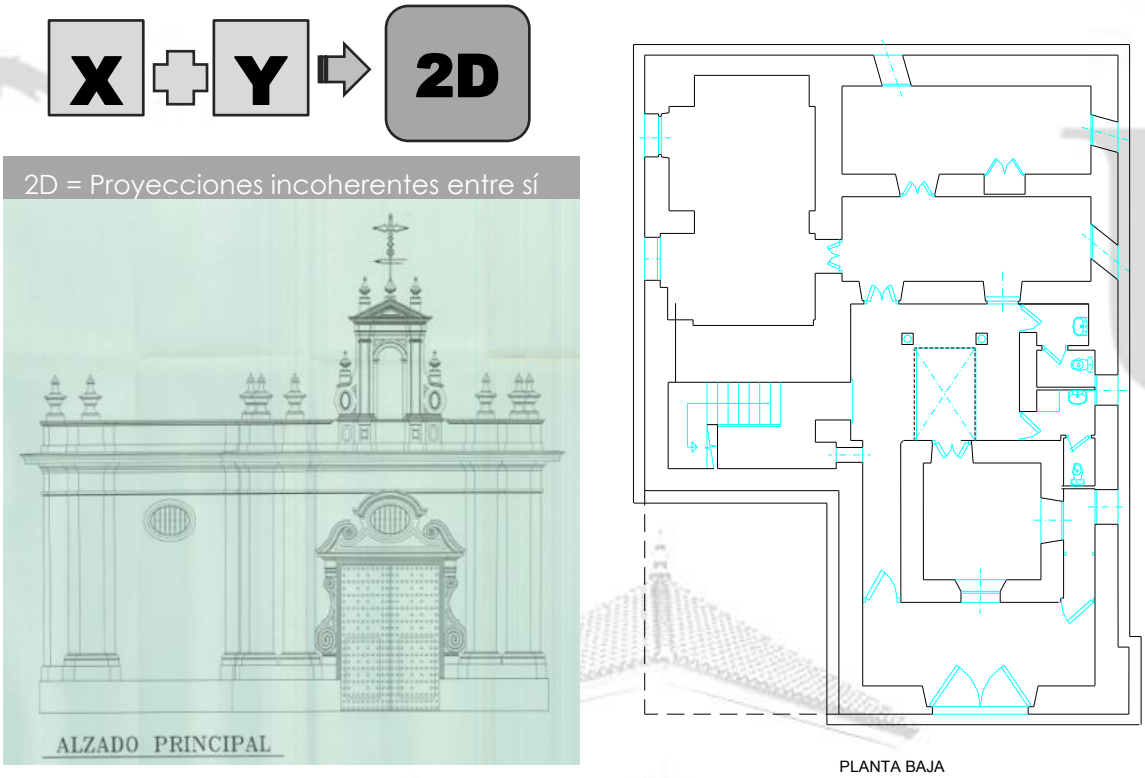
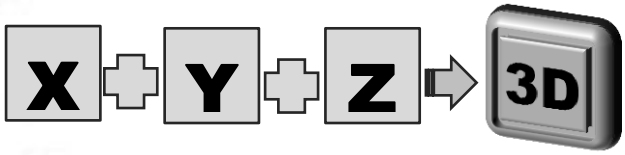


Fig. 52. a) Alzado de la fachada principal insertado en la planimetría; b) Planta en 2D en formato digital dwg. Ambas realizadas con AutoCAD. Cárcel de la R.F. Tabacos de Sevilla, Documentación del TFM. 2010.

Pero el CAD evolucionó y llegó la era de la tercera dimensión o 3D, otro gran cambio revolucionario en el campo gráfico pues, además de representar el objeto en sus tres dimensiones, aplica de forma instantánea materiales a las superficies de las caras.

Las nuevas maquetas "virtuales" dispondrían también de elementos coherentes entre sí al igual que sus antecesoras maquetas "físicas". Un gran cambio en el diseño arquitectónico pero que se ha aplicado hasta estos días de manera parcial en los proyectos al dejarse el "modelado" para una fase posterior, después de definir las proyecciones básicas del edificio u objeto diseñado. Se recurre, por tanto, a un discurso de merma de productividad en la elaboración de los proyectos, sobre todo arquitectónicos. Y es así por dos motivos principalmente: las aplicaciones que iniciaron este camino en 3D, entre la cuales destacamos AutoCAD, no han contribuido a facilitar el diseño tridimensional, ya que hacen que la dirección a tomar en el procedimiento sea bastante laborioso. En segundo lugar, el cambio de mentalidad y visión en el espacio utilizando la tercera dimensión es difícil después de haberse formado desde una base en 2D.



3D para una FASE FINAL =
Merma de la productividad en los proyectos

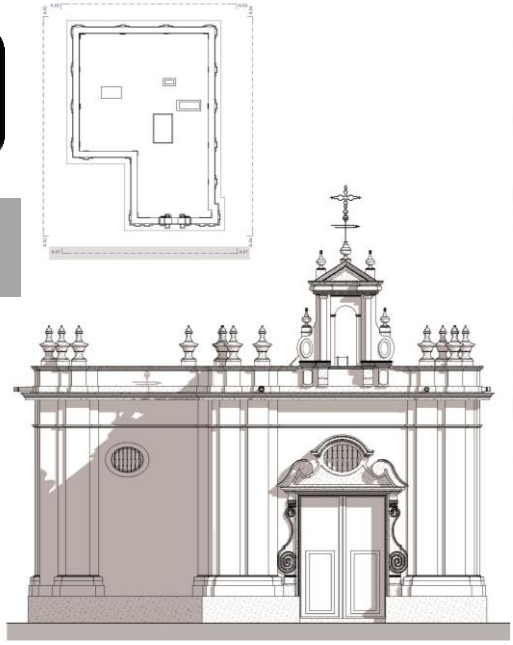


Fig. 53. Alzado extraído del modelo 3D. Cárcel de la R.F. Tabacos de Sevilla. Documentación del TFM marph. Elaboración propia. 2010

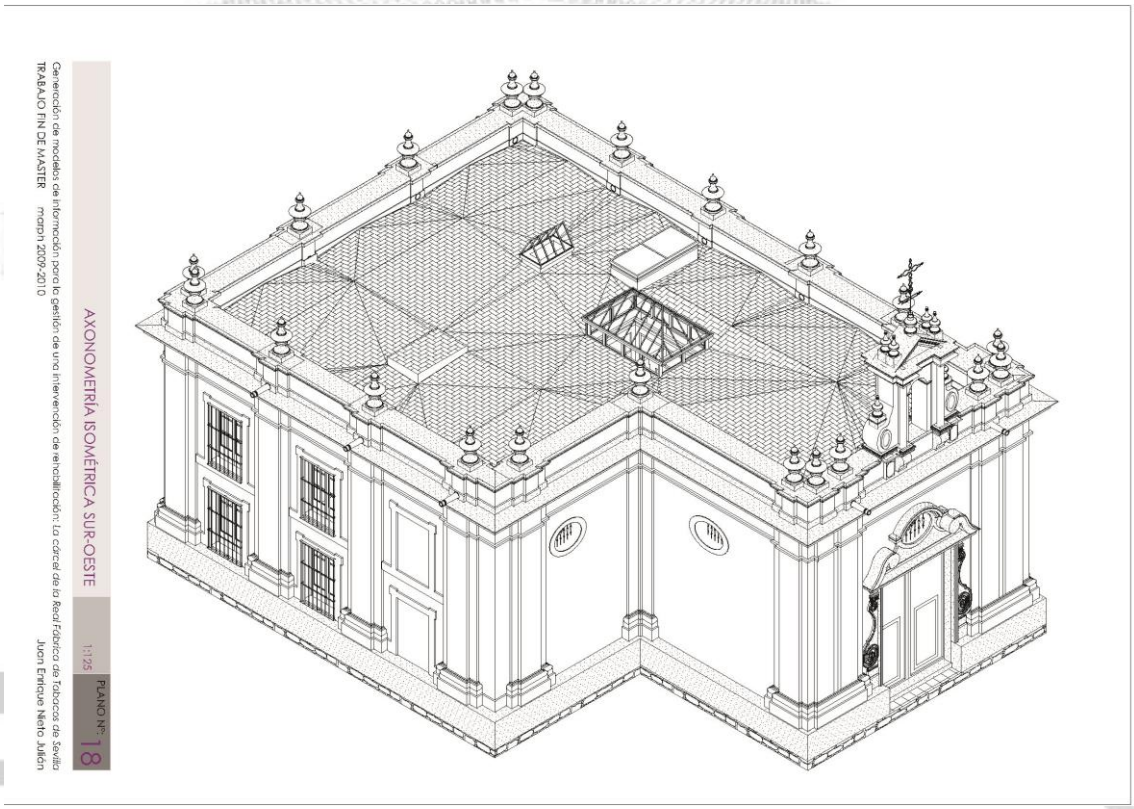


Fig. 54. Axonometría del modelo 3D. Trabajo realizado con el software ArchiCAD. Cárcel de la R.F. Tabacos de Sevilla. Plano 18 del TFM marph. Elaboración propia. 2010.

4.3.8. Los softwares de diseño gráfico: CAD y visualización 3D

Para completar este apartado dedicado a las aplicaciones de diseño gráfico asistido por ordenador, procedería ahora realizar un recorrido por los softwares más importantes que se comercializan en el sector de la edificación e ingeniería, tanto en territorio Español como a ámbito internacional.

Aunque constituye una labor bastante ambiciosa en un principio creemos que nos aportaría mucha información relevante al estado de la cuestión. El estudio se ha dirigido concretamente a las aplicaciones con las que el doctorando ha podido experimentar desde que inició su andadura en el año 1993 con el manejo del software AutoCAD, desarrollada a lo largo de veinte años de profesional en el área de la edificación, y la continuada renovación de conocimientos en su etapa como docente en el área de expresión gráfica arquitectónica, donde ha experimentado con una amplia y variada tipología de aplicaciones de diseño arquitectónico, tanto para el CAD tradicional como para la visualización tridimensional.

Comenzaremos por las aplicaciones que han tenido como base el diseño en 2D, asintiendo que sus verdaderas potencialidades indican que son apropiadas para el modelado 3D. Más que reseñar las ventajas e inconvenientes de cada una, se quiere acotar las cualidades más específicas a la hora de utilizarlas en el sector de la edificación, y que pueden ser de igual de válidas para la representación del patrimonio edificado.

Dejaremos para el final los nuevos softwares que gestionan la información: las aplicaciones BIM para la gestión de datos del edificio y los sistemas de información geográfica SIG, que serán incorporados en capítulos independientes debido a que constituyen la plataforma base para generar los modelos de información en una intervención en el patrimonio arquitectónico, tema a desarrollar en esta tesis[50].

4.3.8.1. AutoCAD Architecture

AutoCAD ha sido desde mediados de los años 80 del siglo XX el software por excelencia en el campo del diseño gráfico, extendiéndose a la práctica totalidad de las disciplinas técnicas, aunque su aplicación se restringió durante varias décadas a la representación en 2D, no por una limitación gráfica sino por respeto a la tercera dimensión y al error concebido de que supondría un mayor trabajo más que un valor añadido.

[50] Este apartado fue incorporado en el trabajo final del máster marph 2010. Ahora se ha actualizado a los nuevos vínculos de los fabricantes de software, incorporando las nuevas prestaciones. Además se ha ampliado a otros nuevos con los que se ha experimentado hasta el año 2013.

Fig.55. AutoCAD Architecture: http://www.autodesk.es/adsk/servlet/download/item?siteID=455755&id=15140560

Su aplicación *AutoCAD Architecture* es la versión de AutoCAD® creada específicamente para los arquitectos, sustituyendo a la anterior *Arquitectural Desktop* desde el año 2008. Con esta versión se facilita el trabajo con las funciones específicas para el dibujo arquitectónico, aumentando la eficiencia al producir diseños y elementos de edificación dentro del entorno conocido de AutoCAD[51]. La gran ventaja respecto a la versión estándar es que nos facilita la elaboración de detalles constructivos con una biblioteca de componentes de detalle y potentes herramientas de notas clave. Se trabaja con objetos paramétricos relacionados con sistemas constructivos, como forjados, muros, pilares y puertas, que hacen pensar en construir más que un proceso de delineación en 2D. El usuario puede insertar y colocar automáticamente puertas y ventanas en el muro, aunque en el objeto vienen definidos todos sus parámetros geométricos para ser vistas en otras representaciones diédricas. Ahora las secciones y alzados en 2D se generan directamente a partir de marcas en planta, evitando los frecuentes errores anteriores por delineaciones a mano, donde no coincidían las diferentes proyecciones realizadas al objeto arquitectónico analizado.

Otra gran ventaja que ha incorporado AutoCAD Arquitecture es el motor de renderización, con funciones de visualización de diseños totalmente integradas, con efectos realistas en sus presentaciones virtuales que reducirán el tener que utilizar otros programas específicos. Aunque la funcionalidad de renderización se puede ampliar con el uso del formato de archivo FBX para exportar los diseños a software de modelado y animación, como Autodesk 3ds Max Design.

4.3.8.2. Extended de Asuni Cad

+*Extended* es una solución que, unida a AutoCAD, consigue ser una herramienta de diseño arquitectónico muy completa, permitiendo el desarrollo de un proyecto desde la fase de anteproyecto, pasando por el básico y finalmente definir los planos de ejecución. Se aprovecha toda la tecnología de las versiones de *AutoCAD* ampliado sus herramientas y utilidades y poder conseguir que AutoCAD Architecture se adapte mejor a las necesidades y a la forma de trabajar que tiene el arquitecto español. Incorpora características constructivas conocidas por todos en España, listados de superficies y proporciona los alzados de la carpintería.

La gran diferencia respecto a otras aplicaciones de CAD es que trabaja con objetos paramétricos en 3D, y con las nuevas funciones que incorpora, como el dibujo de elementos para la construcción de Zapatas, Riostras, Forjados, recubrimientos, machones, etc., permiten la realización de forma automática.

Fig. 56. http://extended.asuni.es/.
Página visitada el 18/10/2010.

4.3.8.3. Dibac Plus Professional Cad

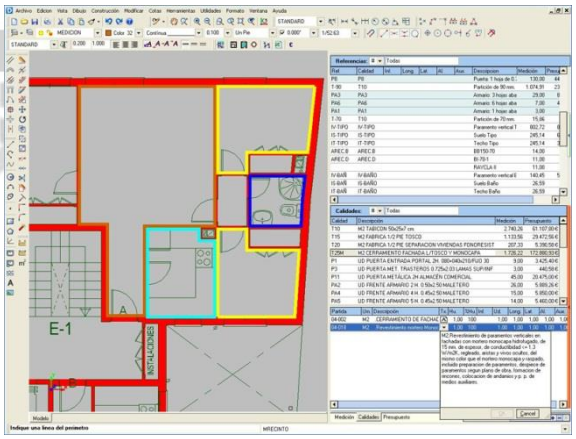
El software *Dibac* nació como una herramienta de diseño en 2D fácil de usar y con un precio muy asequible, utilizando un interfaz casi idéntico al de AutoCAD. Ahora se comercializa como *Dibac Plus Professional Cad* creado para realizar dibujos de Arquitectura integrados con las mediciones y presupuesto en un único programa, ofreciendo una respuesta completa a las necesidades específicas requeridas por los profesionales relacionados con la arquitectura y construcción.

Sigue siendo una herramienta 2D muy efectiva, fácil de aprender y manejar, de resultados muy rápidos y con excelente relación calidad-precio. Además de representar los elementos arquitectónicos, se pueden medir en el interfaz y se presupuestan de forma automática.

Permite dibujar directamente con elementos arquitectónicos tales como muros, puertas, ventanas, armarios, pilares, etc., que se incorporan al proyecto sin necesidad de incorporar bibliotecas externas, creando de esta forma planos actualizados constantemente. Este aspecto es clave para que el dibujo de arquitectura sea rápido. Cuando insertamos en un muro un elemento de carpintería, Dibac reconoce que ese elemento es una puerta y realiza el recorte del muro. Y viceversa, si queremos eliminar una puerta de un muro, el programa reconstruye el muro de forma automática, agilizando el proceso de creación y reforma de un proyecto.

Seguimos hablando de software para trabajos en 2D, pero algo más efectivos que las aplicaciones que se han usado tradicionalmente como herramientas de delineación, ya que evitan utilizar ordenes como *alarga, empalme, recorte*, etc. para modificar bordes de líneas, por ejemplo. Pero para realizar dibujos en 3D el programa se debe conectar con el software *Google Sketchup*.

Donde sí se ha avanzado considerablemente es en el apartado de mediciones y presupuestos, permitiendo realizar de forma automática la medición de un determinado dibujo y obtener su presupuesto relacionado con cualquier base de datos. Se aprovecha la principal característica del programa al dibujar con herramientas de diseño para arquitectura (muros, puertas, ventanas,...), realizando la medición y el presupuesto en tiempo real, ajustándose a los criterios de medición de cualquier modificación realizada de forma inmediata.



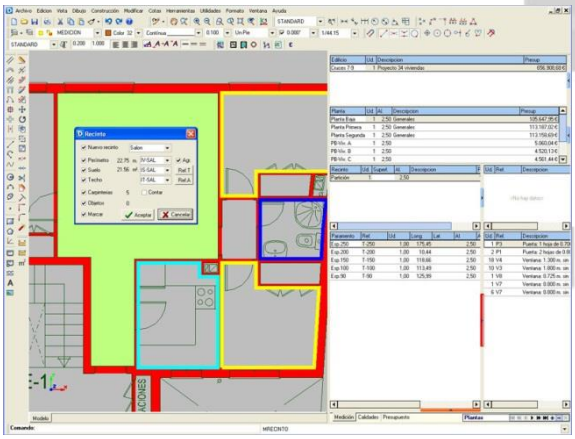


Fig. 57 Asignación de Referencias a los diferentes elementos medidos del dibujo, para posterior indicación de materiales.

Fig. 58 Medición automática de tabiquería y carpinterías. Al indicar un recinto se miden de forma automática paramentos horizontales, verticales y objetos.

Además se sigue el estándar de los nuevos programas de CAD al permitir trabajar con cualquier Base de Batos de Construcción en el formato de intercambio estándar *BC3*. Y lo más importante, se gestiona los datos para que pueda ser exportado a otro software específico para mediciones y presupuesto de los existentes en el mercado[52].

4.3.8.4. Google Sketchup Pro

La actual aplicación *Google SketchUp Pro* es una herramienta de CAD muy sencilla de manejar y a la vez potente que permite crear, ver y modificar ideas en 3D de forma rápida.

Hasta hace muy poco la empresa de software en arquitectura *iscar* lo ha comercializado como herramienta que permitía la fácil conversión de las plantas generadas por Dibac en 2D.

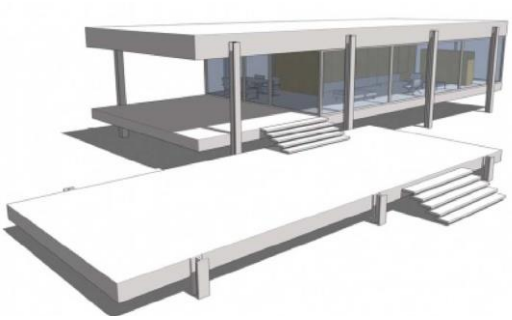


Fig. 59. http://www.iscarnet.com/sketchup/ . Página visitada el 18/10/2010.

SketchUp ha permitido un diseño en 3D muy intuitivo, veloz y flexible, reconocido por muchos como un software fácil de utilizar y muy potente que permite a los diseñadores explorar, comunicar y presentar complejos conceptos de diseño. El potente conjunto de herramientas y el sistema de dibujo inteligente facilitan la creación y manipulación de modelos, mientras que las funciones de importación/exportación ofrecen la flexibilidad y funcionalidad necesarias para el proceso de trabajo profesional.

Pero la aplicación sigue estando lejos de un diseño mucho más real relacionado con el propio proceso arquitectónico, sea el de un nuevo sistema constructivo como el de un hecho del pasado patrimonial, con las técnicas empleadas entonces, y que además permita una gestión y flujo de información flexible.

4.3.8.5. Autodesk 3D Studio Max

3D Studio es una solución de modelado, animación y renderización en 3D más que una aplicación para gestionar elementos constructivos y su representación gráfica arquitectónica. Se comercializar como *Autodesk® 3ds Max® y Autodesk® 3ds Max® Design*, proporcionando potentes funciones integradas de modelado,

[52] http://www.dibac.com/descrip.php . Página visitada el 18/10/2010.

animación, renderización y composición en 3D que multiplican rápidamente la productividad de los artistas y diseñadores.

Aunque ambas versiones comparten la tecnología y la funcionalidad básica, la primera aplicación ofrece herramientas y experiencias específicas a los desarrolladores de juegos, realizadores de efectos visuales y diseñadores gráficos, mientras que la otra tiene características especializadas para los arquitectos, diseñadores, ingenieros y especialistas en visualización.

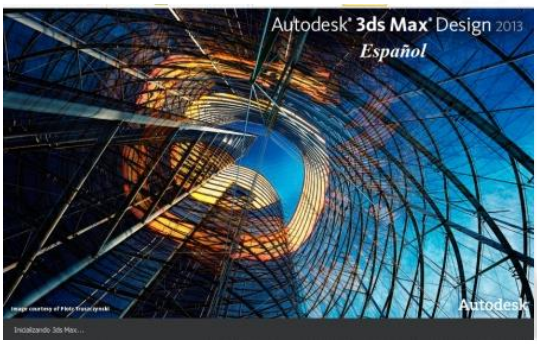


Fig. 60. http://www.autodesk.es/products/autodesk-3ds-max-design/overview
Página visitada el 19/10/2010.

Sigue siendo una herramienta muy utilizada en España para el texturizado de objetos y renderizado, tanto en el diseño gráfico como en el diseño arquitectónico. Pero tenemos que puntualizar que su aplicabilidad no está bien orientada al acotarse bastante sus innumerables prestaciones. Esto es debido a que se necesita de un largo periodo, creemos de varios años, para sacarle el máximo rendimiento a todas sus prestaciones:

- Amplio juego de herramientas de modelado 3D: Más de 100 herramientas avanzadas para modelado poligonal y diseño de formas libres en 3D.
- Sombreado y texturización: Gran variedad de opciones para pintar texturas, mapearlas y asignarlas a capas.
- Animación: Herramientas muy avanzadas para crear personajes y animaciones 3D de alta calidad.
- Herramientas de producción con alto rendimiento para crear efectos y simulación.
- Potente funcionalidad de renderización 3D.
- Integración en la estructura productiva: Importación de datos de numerosos orígenes y transferencia de información de 3ds Max y 3ds Max Design entre archivos, aplicaciones, usuarios y ubicaciones.
- Flujos de trabajo colaborativos: Recopilación y uso compartido de datos en escenas complejas, para que múltiples usuarios puedan colaborar.

Este software ha sido empleado como complemento a los trabajos desenvueltos en la tesis, para la obtención del modelo de información. Nos ha ayudado en la manipulación de pequeños objetos arquitectónicos, cuyas geometrías han sido adquiridas tanto por escáner como por fotogrametría. Principalmente han recaído en los capiteles del Cenador de Carlos V, cuyo procedimiento será

desarrollado en el apartado de Modelado de pequeñas piezas arquitectónicas, dentro del capítulo 8 para la Implementación del modelo de información.

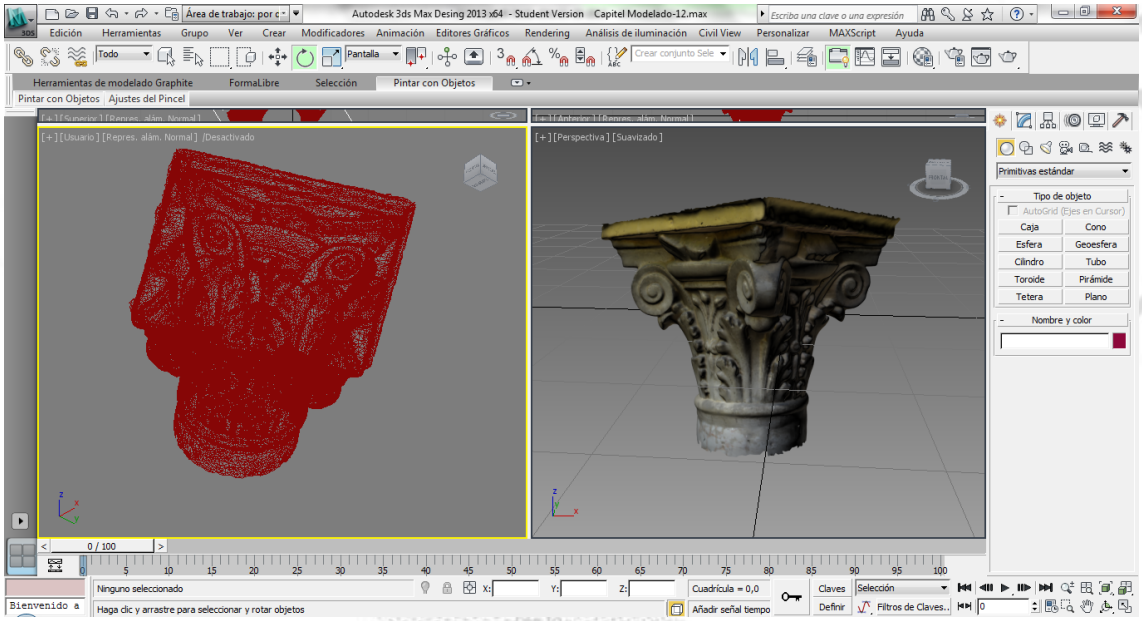


Fig. 61 Interfaz de 3D Studio Max 2013, con la visualización de unos de los capiteles escaneados del Cenador de Carlos V: con la malla poligonal y mapeado con texturas reales

4.3.8.6. Rinoceros

Otro de los softwares de diseño asistido disponible en el mercado es *Rhinoceros®*, con una plataforma de desarrollo 3D muy sólida, aunque poco extendido en España. Su aplicación Rhino proporciona las herramientas para modelar los objetos con precisión y dejarlos listos para el renderizado, la animación, el dibujo, la ingeniería, el análisis y la fabricación. Entre las prestaciones más destacadas tenemos:

- Crear, editar, analizar, documentar, renderizar, animar y traducir curvas NURBS, superficies y sólidos sin límite de complejidad, grado o tamaño.
- Rhino también es compatible con mallas poligonales y nubes de puntos.
- Ofrece Ilimitadas herramientas de modelado de forma libre 3D.

Hay que destacar *VisualARQ*, un plug-in completamente integrada en Rhino que añade características arquitectónicas a Rhino 3D, y que comercializa asuni Cad. Utiliza el interfaz intuitivo de Rhino, proporcionando herramientas para arquitectos, planificadores y diseñadores de interiores que facilitan el proceso y la documentación del diseño arquitectónico, la creación de maquetas virtuales utilizando las opciones de Render de Rhino y la conexión con otros programas del sector de la arquitectura.

VisualARQ también agrega objetos paramétricos de arquitectura 3D como muros, columnas, puertas, ventanas y escaleras que son adecuados para modelado 3D y la documentación 2D.

Destacar el potente editor de VisualARQ que permite crear y modificar objetos arquitectónicos inteligentes/personalizados y conseguir que el diseño arquitectónico resultante se adapte a las propias necesidades del trabajo patrimonial.

La gran ventaja de utilizar la aplicación VisualARQ en Rhino es su integración de manera fácil e intuitiva en el flujo de trabajo de diseño. Puede trabajar en 2D y 3D al mismo tiempo, ver el modelo 3D o la representación 2D a la vez, y le permitirá incluir soluciones y elementos arquitectónicos a los proyectos de Arquitectura realizados con Rhino.

Fig. 62 http://www.es.rhino3d.com/.

Última visita a la Web: 03/02/2014.

4.3.8.7. Cinema 4D

MAXON Computer es un desarrollador líder de software 3D para el mercado creativo, más conocido por software CINEMA 4D para el modelado 3D, texturizado, renderizado y animación. Está aceptado internacionalmente como un software para crear *motion graphics* 3D de vanguardia, visualizaciones arquitectónicas y de productos comerciales, gráficos para videojuegos e ilustraciones para el diseño gráfico. Aunque está en línea con aplicaciones de la competencia (3DStudio y Rhino), su gran potencial lo tiene en la animación[53].

Forma parte del grupo de Nemetschek (cuyos productos incluyen las principales marcas de CAD/BIM: Allplan, ArchiCAD y Vectorworks), lo que ha permitido a MAXON extender su campo de actuación en el sector AEC (arquitectura, ingeniería y construcción). Esto nos hace pensar que el software CINEMA 4D está expresamente indicado para facilitar los trabajos de visualización y complementar las funcionalidades de aplicaciones específicas de CAD/BIM.

Fig. 63. http://www.maxon.net/es/customer-stories/architecture.html.

Web visitada 10/08/2013.

[53] Entre los clientes de MAXON se incluyen: ABC, Blizzard Entertainment, BMW, CNN, Fox, ITV Creative, PC (Moving Picture Company), NBC, NFL Network, Rhythm & Hues, Siemens VDO, Sony Pictures Imageworks, The Walt Disney Company, Turner Broadcasting y Vitra.

4.3.8.8. Artlantis Render y Artlantis Studio

Para finalizar con los programas de modelado queremos presentar el software *Artlantis*[54], que permite crear imágenes fotorrealistas a partir de modelos 3D generados con los programas de modelado 3D más populares: interactúa directamente con ArchiCAD, VectorWorks, SketchUp Pro, y Arco+. Con la adición de los formatos de importación *DWF, OBJ* y *FBX* y actualización *DXF, DWG* y *3DS,* Artlantis conecta perfectamente con todos los principales software de CAD y BIM: ArchiCAD, Revit Architecture, 3ds Max, Maya, Rhino, CINEMA 4D, LightWave.

Fig. 64. Web de Artlantis: http://es.artlantis.com/. Última visitada a la Web: 03/02/2014.

Artlantis es un software independiente de la representación tridimensional, pues su tarea es complementaria a la de una aplicación de CAD o BIIM. Esto, en cierto modo, es una gran ventaja para que el trabajo no se ralentice, dado que aquellas utilizan más información que la necesaria para la visualización. Además, durante el procesado de la infografía el software de modelado no podrá seguir con el trabajo de gestión de la documentación de un proyecto arquitectónico.

Entre las últimas novedades de la versión 5, hay una muy ventajosa para facilitar el flujo de trabajo; y es que cada vez que se modifica el archivo en el software de modelado, los cambios son fácilmente actualizados en el archivo de Artlantis sobre los anteriores trabajos iniciados. Si, por ejemplo, modelizamos un proyecto en ArchiCAD para exportarlo y editarlo después con Artlantis, podemos volver de nuevo a ArchiCAD para modificar la geometría del proyecto y exportar un nuevo archivo de Artlantis recuperando automáticamente el trabajo previo iniciado.

En el campo arquitectónico Artlantis se presenta dos versiones: *Artlantis R*, diseñado para conseguir renderizados de alta calidad; y *Artlantis Studio*, que proporciona la herramienta ideal para quien quiere renderizados sobrepasando los límites de las imágenes estáticas. Este último ha sido empleado en las labores de visualización del modelo de información, como también en la manipulación de los capiteles del Cenador de Carlos V, al igual que el software 3DStudio Max (Fig. 65).

[54] Enlace a tutoriales:http://es.artlantis.com/index.php?page=tutorials/index

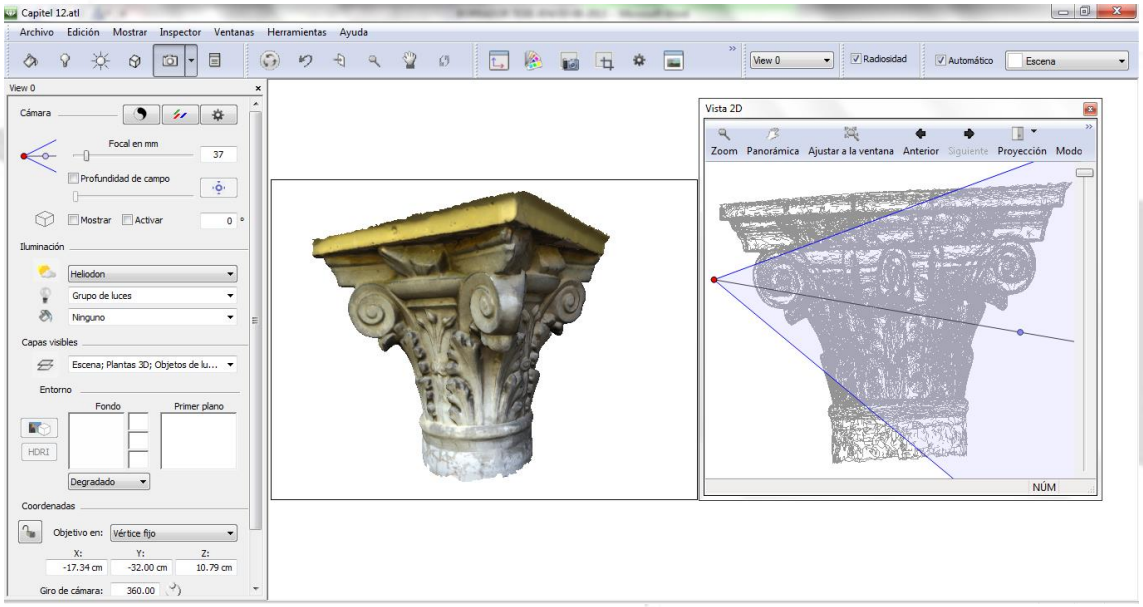


Fig. 65. Visualización del capitel 12 en el software Atlantis Studio 4 (escaneado con el equipo 3D Scanner Artec y convertido en formato 3DS). Cenador de Carlos V en los Jardines del Real Alcázar de Sevilla

Por la experiencia adquirida en el manejo de ambos software, diríamos que la diferencia es sustancial, en cuanto que Artlantis Studio es una aplicación muy flexible que permite a arquitectos y diseñadores, rápidas y sencillas creación de renderizados de alta calidad 3D, panoramas QuickTime® VR, objetos y animaciones, algo que es esencial actualmente para cualquier usuario: maleabilidad, precio asequible ligado con alta productividad.

Fig. 66. Vistas de maquetas virtuales de edificios históricos renderizadas con Artlantis.

4.4. De los Sistemas de Información en Edificación

4.4.1. Las nuevas herramientas gráficas: del CAD al BIM

Si bien los software expuestos en el capítulo anterior son muy válidos para la representación y visualización de la edificación, hoy se nos presentan poco eficientes para cumplir con los innumerables exigencias impuestas por las ordenanzas (derivadas muchas de las demandas de promotores y últimos beneficiarios), por la complejidad de incorporar los nuevos sistemas constructivos y la difícil coordinación de multitud de ingenierías en el proyecto arquitectónico.

Sabemos que el grado de perfección de una delineación manual puede llegar a asimilarse a la impresión de un plano proveniente de un software de CAD, eso sí, sin tener en consideración el tiempo que se ha empleado en llegar a cada una de ellas. Ambas tienen en común la representación "delineada" o vectorial de una vista del edificio, que en muchos casos son independientes de otras donde se encuentran los mismos elementos, pero vistos desde una perspectiva diferente. Esto es debido a que los "medios" de CAD que se emplean para representarlas no admiten una relación por analogía, dando lugar en algunos casos a incongruencias en la planimetría que no es resuelta a tiempo debido a que el trabajo está condicionado a una supervisión muy manual.

En los últimos treinta años se ha seguido con un trabajo intenso en la investigación y desarrollo de las aplicaciones de CAD para avanzar en la descripción de la geometría de manera digital y abrir otros campos igual de necesarios en el sector de la construcción, como es almacenar, presentar y manipular la información que no es gráfica. Los softwares actuales que manejan información geométrica vectorizada son derivados de sus antecesores, como es el caso de AutoCAD. Pero al contrario de lo que se piensa, esta aplicación de CAD ha utilizado siempre un lenguaje de programación orientado a objetos (C++) para representar elementos gráficos o *entidades*[55]. En cambio, estos objetos de programación son empleados casi en exclusividad para una representación simbólica del edificio al igual que las técnicas de delineación tradicionales, plasmada en una proyección sobre papel o pantalla. La ventaja puede estar en la precisión y en el uso de bibliotecas de símbolos o *bloques*, aunque en este último caso hace falta un conocimiento previo acerca de la simbología, cosa que en la construcción no está bien homogeneizada (BAEZA y SALAZAR, 2005:68).

Además, muchos de estas representaciones están faltas de detalles, necesarios para definir sistemas de construcción, calcular costos, planificar tareas, etc. Por lo

[55] Cada objeto de un sistema informático tiene asignada una tarea independiente con las instrucciones y los datos para realizarla, así como el código de programación necesario para manejar los diversos mensajes que puede recibir.

que es muy probable que se cometan errores en la fase de ejecución, así como en desperdicio de mano de obra, tiempo y materiales (IBRAHIM, et al., 2004).

Entonces, ¿dónde estaría la solución? Pues no en sustituir las herramientas de delineación o modelado, ya que la calidad de las representaciones cubre con creces los intereses. Nos centraríamos más en cambiar la táctica y utilizar medios que permitan una representación gráfica y una caracterización de los elementos arquitectónicos o constructivos en función de las particulares materiales, funcionales y espaciales, y dentro de un contexto multidisciplinar. "Lo que se busca es modelar objetos que contengan información coordinada, coherente y computable a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio; desde su concepción a su derribo o reforma" (COLOMA, 2012: 9).

Las herramientas de modelado del edificio que nos permiten, además, incorporar información intrínseca al elemento constructivo representado ya las tenemos: actualmente se le conoce con el nombre de BIM (acrónimo de los términos en inglés Building Information Modeling).

Paradójicamente es una tecnología que empezó a desplegarse con la de CAD (años 80), pero que no ha sido hasta nuestros días cuando está alcanzando una gran evolución y rápida implantación a ámbito internacional en todo el sector AEC[56], más que por sus grandes condiciones por una búsqueda de soluciones tajantes a las insuficiencias detectadas en etapas anteriores.

4.4.1.1. Los antecedentes al BIM

Unos pocos años antes de iniciarse la década de los 80 del siglo pasado, el profesor Charles M. Eastman[57] describía de concepto de Building Description System como un diseño que define interactivamente elementos para proporcionar secciones, planos, isometrías o perspectivas. Un sistema donde cualquier cambio de disposición de un elemento constructivo se deriva en un nuevo dibujo actualizado automáticamente y de forma relacionada. Permitirá generar análisis de cantidades fácilmente, proporcionando una sola base de datos integrada para la visualización y el análisis cuantitativo (EASTMAN, 1975).

El mismo concepto fue mencionado por William Mitchell (1978) cuando publica *Computer-Aided Architectural Design* donde se hace referencia a las "computer - based building descriptions", es decir, unas bases de datos informáticos para la descripción de edificios.

En Europa también se inició esta línea de investigación a comienzos de los años 80, comercializándose los primeros software unos años más tarde: ArchiCAD, 1883; Allplan, 1984. Se utilizó para definirlo el término genérico " Product

[56] Siglas en ingles que significa: Arquitectos, Ingenieros y Constructores.
[57] La enseñanza y la investigación del profesor Eastman se encuentra en las áreas de Building Information Modeling, modelado de sólidos y paramétrico, las bases de datos de ingeniería, y modelos de productos y la interoperabilidad. Él también es un investigador activo en el conocimiento del diseño y la ciencia cognitiva. Actualmente es Director del Laboratorio de Construcción Digital de la School of Architectura. Georgia Tech. EE.UU.

Information Model", mientras que en EE.UU. lo aproximaban más al sector de la construcción: "Building Product Model". El resultado final fue una mezcla de ambos: Building Information Model", expresión incluida en el artículo de GA van Nederveen y F. Tolman publicado en Diciembre de 1992 en la revista Automation in Construction (EASTMAN, et al., 2008).

A partir de aquí ha seguido una carrera intensa de investigación y desarrollo (proveniente de investigadores de centros públicos y de empresas desarrolladoras) que ha dado como fruto lo que actualmente conocemos como tecnología BIM. Mostremos los hechos más relevantes de esa corta historia.

En el año de 1978 se presentó la primera versión de SigmaGraphics, desarrollado por Sigma Design International, de Alexandria, Louisiana, el cual posteriormente se denominó ARRIS CAD en el año de 1984 (un entorno completamente dedicado a la arquitectura y construcción). Este software originalmente fue desarrollado para entornos multitarea tales como UNIX/XENIX (posteriormente se adaptó al sistema Windows).

En 1986 se comercializa el software RUCAPS, desarrollado por la sociedad GWW Computers Ltd. Robert Aish introduce la expresión *Building Model* en su manual de uso. Fue una aplicación que ya empleaba elementos paramétricos para el modelado 3D, sustentada en *bases de datos relacionales*. Son bases que cumplen con el "modelo relacional", modelo muy utilizado en la actualidad para implementar datos ya planificadas. Permiten establecer interconexiones (relaciones) entre los datos (que están guardados en tablas), y a través de dichas conexiones relacionar los datos de ambas tablas[58].

Fig. 67. Esquema de un modelo relacional. Fuente: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ed/Diagrama_Empleado.jpeg

Prosiguiendo con la cronología, surgirán otros desarrolladores a mediados de la década de los ochenta que empiezan a comerciar softwares similares: Architron, Brics (en Bentley Triforma), Master Architect, MicroGDS, Reflejo y Sonata. Estas aplicaciones han sido siempre específicas para el diseño geométrico arquitectónico, facilitando la incorporación de elementos constructivos (muros, pilares, forjados...), pero alejados de lo que conocemos como base de datos de objetos paramétricos. Se conocen como aplicaciones CAAD (Computer Aided Architectural Design).

[58] Tras ser postuladas en1970 las bases del trabajo de Edgar Frank Codd (del laboratorios IBM, San José, California): "A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks" ("Un modelo relacional de datos para grandes bancos de datos compartidos"), no tardó en consolidarse como un nuevo paradigma en los modelos de base de datos. Actualmente, son cada vez más las aplicaciones informáticas que utilizan la *base de datos relacional*, extendiéndose a una infinidad de profesiones.

En el año1987 se comercializa la nueva versión de ArchiCAD como *Virtual Building* (V.3.1.). La larga trayectoria comercial de ArchiCAD ha ido en paralelo con el software de Autodesk AutoCAD (iniciada en 1983), pero siempre ha tenido unas prestaciones muy superiores a su directo competidor, permitiendo un trabajo más flexible 2D y 3D. Para evitar este distanciamiento en el diseño arquitectónico, AutoCAD ha recurrido a accesorios específicos suministrados por programadores externos: AEC, ARCHT, ArqT AutoArchitect (Softdesk) , ArchPro y GeoCAD.

La empresa alemana Nemetschek comerciaiza en 1996 una versión de Allplan para Windows (V.14), posteriormente muy mejorada la versión 15 (1999). Su afán de expansión hizo que en ese mismo año adquisiera Diehl Graphsoft (proveedora de Minicad, V.7) para convertirla un año después Nemetschek Vectorworks (V.8).

Estos hechos motivan que Autodesk apueste de lleno por un software para la arquitectura. Así, en 1999 comercializa AutoCAD Architectural Desktop, que incorpora herramientas explícitas para el diseño arquitectónico y sin necesidad de incorporar un API específico.

4.4.1.2. Las aplicaciones BIM

El Modelado de la Información del Edificio o para la construcción fue popularizado por el estadounidense Jerry Laiserin (2002), quien lo utilizó como una expresión común para la representación digital de procesos de construcción que tiene como objetivo primordial intercambiar e interoperacionalizar información. Con el nuevo sistema la *entidad* del CAD será sustituida por el *objeto* paramétrico del BIM.

Esta publicación coincide con la adquisición por Autodesk en el año 2002, de la empresa Revit Technologies, que había desarrollado un software para el diseño paramétrico industrial con un intefaz sencillo, estructurado y muy flexible. Una operación obligada debido a que su versión Architectural Desktop[59] perdía mercado respecto a sus competidores (Allplan de Nemetschek y ArchiCAD de Graphisoft). Aunque parezca paradójico, la última empresa en subirse al tren del BIM, va a ser la promotora del uso del término BIM, ya que Autodesk lo emplea como identificador de sus productos Revit para la *Práctica Integrada*. Esto fuerza al resto de desarrolladores de CAAD el empleo del mismo en pocos años. Así, en el año 2007, el BIM ya era sinónimo de una nueva generación de aplicaciones que van más allá del modelado tridimensional coordinado para cubrir también las necesidades de colaboración interdisciplinaria (COLOMA, 2012: 204).

Otro hecho relevante fue un acuerdo de "interoperabilidad" en el año 2008 entre Autodesk y Bentley (desarrolladora de productos de modelado y CAD, como MicroStation), que pretendía facilitar la transmisión de la información contenida en sus aplicaciones de CAD/BIM. Bentley pretende evolucionar sus herramientas

[59]Autodesk ha seguido desarrollando Architectural Desktop (comercializada ahora como AutoCAD Architecture) en paralelo con Revit. Ahora podría ser considerada una aplicación BIM más, pero con limitaciones, ya que su estructura interna no puede competir con una aplicación BIM 100 por 100.

de CAD hacia el BIM con el uso de formatos abiertos, defendiendo los beneficios de una base de datos intercambiable.

Actualmente el sistema BIM presenta diferentes opciones en cuanto a plataformas y software para su implementación en el área de la arquitectura y la construcción. Esta cabida es ofrecida por diferentes proveedores de software gráficos, siendo las aplicaciones más extendidas (sobre todo en España) son: Allplan de Nemetschek, ArchiCAD de Graphisoft y Revit Architecture de Autodesk. Aunque en estos últimos años se ha incorporado al mercado otras aplicaciones que operan bajo el sistema BIM, como son Nemetschek Vectorworks y la nueva Solibri.

4.4.1.2.1. Allplan

Dispone de una gran comunidad de usuarios incondicional en España gracias a su nivel de sofisticación, con unos rendimientos muy efectivos en los estudios multidisciplinares de arquitectura e ingeniería donde se ha implantado. Tiene el inconveniente de resultar una aplicación muy estructurada y poco flexible, lo que hace que no sea muy atractiva cuando se tiene un primer contacto. Así, los nuevos usuarios en la tecnología BIM la consideran una aplicación compleja[60].

Modela la información de manera similar a la de una aplicación de CAD, pero su estructura de documentación es radicalmente diferente a la del resto de aplicaciones BIM nativas (siguiendo las pautas de los antiguos softwares de CAAD). Los proyectos se archivan en una carpeta para fraccionar el modelo en compartimentos independientes para que el usuario pueda cargar las partes que desea visualizar y editar. La estructura del proyecto se gestiona con una aplicación específica que permite cambiar la organización documental. Esta funcionalidad la incorpora ArchiCAD en el propio interfaz, en el Organizador del Proyecto de la paleta Navegador, lo cual es una ventaja en cuanto a la organización de vistas, planos y obtención rápida de la documentación.

4.4.1.2.2. Graphisoft ArchiCAD

Debido a su larga trayectoria de más de treinta años tiene miles de usuarios en todos los continentes. Además de la investigación y desarrollo desde su sede de Graphisoft en Hungría, ArchiCAD está respaldado por muchas empresas desarrolladoras de Add-Ons para arquitectura: Cigraph Factory en Italia, que suministra el paquete ArchiSuite; eptar desde Hungría, con add-ons para revestimientos de paramentos y cubiertas; y Cadimage en Nueva Zelanda, con accesorios muy interesantes, como el plug-in *CludPoint* para gestión de nube de puntos desde el propio ArchiCAD.

El profesor Eloi Coloma la describe como "una aplicación coherente y estable, (…) que conserva la flexibilidad del sistema de capas (con asignación

[60] Allplan es una aplicación que operaba bajo el entorno Unix. Su migración al sistema Windows no dio lugar a un interfaz ameno, flexible y productivo. Este último calificativo se refiere, sobre todo, al tiempo extra que el usuario debe emplear en llegar a los mismos resultado que los softwares competidores.

automática). Trabaja con un archivo único con posibilidad de acceso simultáneo que almacena las librerías fuera de él" (aunque en las últimas versiones también se pueden incluir en el archivo de proyecto *pln*).

ArchiCAD sigue incorporando las herramientas de diseño gráfico vectorial (2D), aunque su fuerte son las de diseño parámetrico: *muro, pilar, forjado, cubierta,…*, hasta llegar a la más nueva y muy flexible herramienta *forma*. Como vemos, los objetos paramétricos básicos se asimilan a elementos constructivos, pero ArchiCAD nos facilita la creación de nuevos objetos con el uso de aquellos. Por ejemplo, usando cuatro pilares y un forjado apoyado en los mismos podemos convertirlo en una mesa (dándoles las dimensiones apropiadas de un mobiliario). Sólo debemos seleccionarlos en grupo y usa la orden de convertir a objeto paramétrico (gsm).

Siendo la aplicación base que hemos empleado para la creación de los modelos de información expuestos en este proyecto de tesis, en los capítulos posteriores profundizaremos más en el uso de las herramientas (sobre todo aquellas que han sido fundamentales a la hora de su aplicabilidad al caso del patrimonio arquitectónico), la estructuración del proyecto, su gestión y la publicación de la documentación completa.

4.4.1.2.3. Autodesk Revit Architecture

Aunque sea bastante nueva respecto a sus antecesoras (Allplan y ArchiCAD), en estos últimos años ha adquirido una cota de mercado excepcional. Esta creciente aceptación de Revit es resultado de un rápido progreso en el campo de la parametrización, aunque también creemos que Autodesk dispone de mayores facilidades a la hora de ofertar alternativas más eficientes a los usuarios de AutoCAD por ser anteriores clientes.

Revit dispone de un interfaz de parametrización gráfico que le facilita al usuario describir cualquier objeto con independencia de su categoría. Permite su parametrización desde cero mediante herramientas gráficas de uso genérico, en vez de cambiar variables a cada objeto de una biblioteca básica (como ArchiCAD, al editar un objeto paramétrico tipo puerta/ventaja). Aquí, las diferencias de comportamiento y representación de los elementos vienen dadas por la categoría de los objetos, no por su composición. Revit es una aplicación que mantiene una organización jerárquica hacia los elementos arquitectónicos muy clara (COLOMA, 2012: 215).

Nos permite independizar la visualización de la representación del modelo BIM (planta, alzado, sección,…) permitiendo al usuario manipular las vistas sin afectan al conjunto. del modelo. Esto también lo hacen Allplan y ArchiCAD (modo Dibujo) pero creemos que es una metodología errónea, pues la líneas, trama o cualquier otro elemento incorporados a la vista son independientes de la reconstrucción del modelo. Como su propio nombre indica, es una herencia de trabajos anteriores delineados con herramientas vectoriales de dibujo.

4.4.1.2.4. Vectorworks Architect

Surge de una fusión de Diehl Graphsoft, Inc. y el Grupo Nemetschek en el año 2000, como una operación estratégica para introducirse plenamente en el mercado norteamericano, ya que Vectorworks[61] se encontraba bien posicionado. Actualmente comercializa Vectorworks Architect como un software de modelado 3D y con las capacidades de BIM: optimizar los costos, analizar los materiales y aumentar la eficiencia energética, mientras que se mantiene fiel a su concepto de diseño.

Al provenir de una aplicación de CAD, incorpora herramientas de dibujo 2D para trabajos de detalles y anotaciones en los dibujos. Lo que le hace acercarse al BIM es el etiquetado de elementos para listar la información relativa al materiales, fabricantes o al costo, creando tablas vinculadas a los dibujos. Incorpora avanzadas herramientas de modelado basados en NURBS que le permite diseñar con formas complejas de manera más flexible.

4.4.1.2.5. Solibri

Solibri es una empresa que se concedió desde un principio para suministrar herramientas eficientes a los agentes de la AEC poder ahorrar tiempo, reducir costes y respetar el medio ambiente[62]. Desde 1999 han ido desarrollando el software para introducir un flujo de trabajo BIM (comercializado en el 2014 como Solibri Model Checker V9), concebido para facilitar la comunicación entre arquitectos, empresas constructoras y propietarios. Dispone de la aplicación gratuita Solibri Model Viewer (SMV) para abrir los archivos Solibri y los IFC estándar.

El profesor Eloi Coloma realiza en su Tesis Doctoral un interesante recorrido por las aplicaciones BIM para el diseño arquitectónico, aunque decide al final realizar un análisis comparativo entre Revit (Architecture 2010) y ArchiCAD (versión 12). Este lo complementa con estudios de proyectos reales, donde los profesionales habían experimentado con aplicaciones BIM.

En su conclusión final sobre el estudio de casos llega a expresar "que, a pesar de las diferencias, ambas aplicaciones son perfectamente válidas para el desarrollo de cualquier proyecto desde principio a final. Las carencias de una y otra pueden ser superadas con caminos alternativos, la mayoría de ellos accesibles desde el propio programa. La prueba de su funcionalidad está en los casos de éxito que ya se conocen del uso de ArchiCAD y los que se empiezan a divulgar los de Revit" (COLOMA, 2012:416).

	AUTODESK AUTOCAD	GRAPHISOF TARCHICAD	NEMETSCHEK ALLPLAN	AUTODESK REVIT	AUTODESK ARCHITECTURAL DESKTOP	VECTOR-WORKS NEMETSCHEK	SOLIBRI
1980						Diehl Graphsoft	

[61] Desde sus inicios en la década de 1980 como Diehl Graphsoft, Inc., la compañía ha jugado un papel formativo en la industria CAD, redefiniendo el mercado mediante el establecimiento de un estándar alto para sus productos.
[62] Su sede está Helsinki, aunque ya opera por toda Europa y EE.UU.

1982		ArchiCAD 1					
1983	AutoCAD 1						
1983	AutoCAD 1.2						
1983	AutoCAD 1.3						
1984	AutoCAD 1.4		Allplan 1				
1996		ArchiCAD 5.0	Allplan 14				
1997	AutoCAD 14	ArchiCAD 5.1		Revit 1			
1998		ArchiCAD 6.0		Revit 2	Desktop		
1999	AutoCAD 2000	ArchiCAD 6.5	Allplan 15	Revit 3	Desktop 2		Solibri
2000	AutoCAD 2000i			Revit 4	Desktop 3	Vectorworks Nemetschek	
2001	AutoCAD 2002	ArchiCAD 7.0			Desktop 3.3		
2002		ArchiCAD 8.0		Revit 5			
2003	AutoCAD 2004	ArchiCAD 8.1	Allplan 16	Revit 6	Desktop 2004		
2004	AutoCAD 2005	ArchiCAD 9	Allplan 17	Revit 7	Desktop 2005		
2005	AutoCAD 2006		Allplan FT 20 05	Revit Building 8	Desktop 2006		
2007	AutoCAD 2008	ArchiCAD 11	Allplan FT 2008	Revit Architecture	AutoCAD 2008 Architecture		
2009	AutoCAD 2010	ArchiCAD 13	Allplan FT 2009	Revit Architecture	AutoCAD 2010 Architecture		
2014	AutoCAD 2014	ArchiCAD 1	Allplan FT 2014	Autodesk Revit 2014	AutoCAD 2014 Architecture	Vectorworks 2014	Solibri Model

Fig. 3.31. Cronologia de las aplicaciones específicas CAD/BIM para la construcción (ampliada de la presentada por Eloi Coloma en su Tesis Doctoral (2012: 205).

4.4.2. El Modelo de Información para La Construcción o BIM

La profesora Rocío Quiñones, en su trabajo *Modelo integrado de información del edificio* (2009), llega a enunciar el sistema BIM "como el proceso de generación y gestión de datos del edificio durante su ciclo de vida permitiendo la construcción en tres dimensiones y en tiempo real, del objeto arquitectónico y la asignación de atributos, procedentes de una base de datos, a los distintos elementos que constituyen el modelo virtual"[63].

Según Miguel Villamor, arquitecto y representante de *Nemetschek* España, "el concepto de BIM se considera un proceso de representación del edificio basado en datos, y no sólo en su geometría. La informatización del proceso a través del software es lo que modifica por completo las reglas tradicionales del proyecto y su construcción. El BIM facilita compartir datos (comunicación), trabajar sobre los datos compartidos (colaboración), realizar análisis previos a la construcción (simulación), y usar estos resultados para mejorar el diseño (optimización)".

Mientras que los programas CAD han hecho uso de objetos vectoriales, tales como líneas, círculos, arcos, superficies y volúmenes, a los que se les asignan valores de tipo de línea, grosor de pluma y color entre otros, los software BIM emplean entidades paramétricas que incorporan propiedades adicionales; además de su geometría, se identifica su posición espacial, los materiales a utilizan en sus diferentes caras y núcleo, la posibilidad de cambiar el modelo estándar de sus componentes por otros más específicos en diseño, la obtención de cantidades y su posterior coste.

Se ha pasado de trabajar en 2D y 3D por procedimientos geométricos a un modelo 4D/5D desarrollado que reúne datos de los elementos: parámetros geométricos, especificaciones, propiedades físicas necesarias para sus posteriores estudios en el campo estructural, energético, acústicos, etc. Todo esto sin perder calidad en la generación de documentación gráfica, con una rapidez y efectividad en la utilización de los elementos paramétricos que definirán la maqueta virtual.

[63] En la web española EUBIM 2014, con un enunciado muy similar al anterior, se declara además a este proceso como el productor del modelo de información del edificio o modelo BIM, que abarca la geometría del edificio, las relaciones espaciales, la información geográfica, así como las cantidades y las propiedades de los componentes.

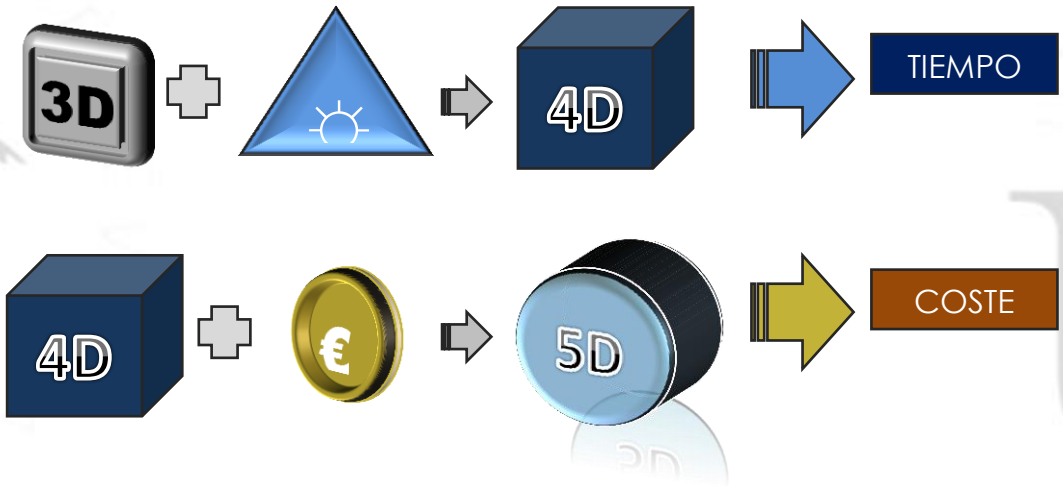


Fig. 68. Las dos nuevas componentes que introducen el nuevo sistema BIM. Elaboración propia.

Los nuevos programas de diseño gráfico que incorporan el nuevo concepto de BIM permiten disminuir el tiempo y reducir recursos tanto en el diseño como en su posterior construcción. En el mismo proceso de producción del modelo de información del edificio, se definirá la geometría del edificio, las relaciones espaciales, la información geográfica, así como las cantidades y las propiedades de los diferentes elementos que han intervenido en su creación.

En el modelo BIM todos los objetos están codificados en sus tres dimensiones espaciales, en el momento en que son colocados. En el caso de insertar un objeto muro, incorporará las características propias de su geometría (longitud, ancho y altura), que representará automáticamente en la vista de planta como dos líneas paralelas, pero que además incorporará las propiedades de los materiales (núcleo y acabados), las especificaciones del diseñador, vinculación a una partida de obra (proveniente de una base de datos con precios unitarios), etc. Un objeto tendrá un sistema finito de parámetros que dictan su forma. Por tanto, a la hora de la codificación del objeto habrá que incluir estos parámetros. Pero dicha información requerirá de un conocimiento previo de los parámetros implicados en la creación del objeto físico (BAEZA, 2005), (IBRAHIM, et al., 2004b).

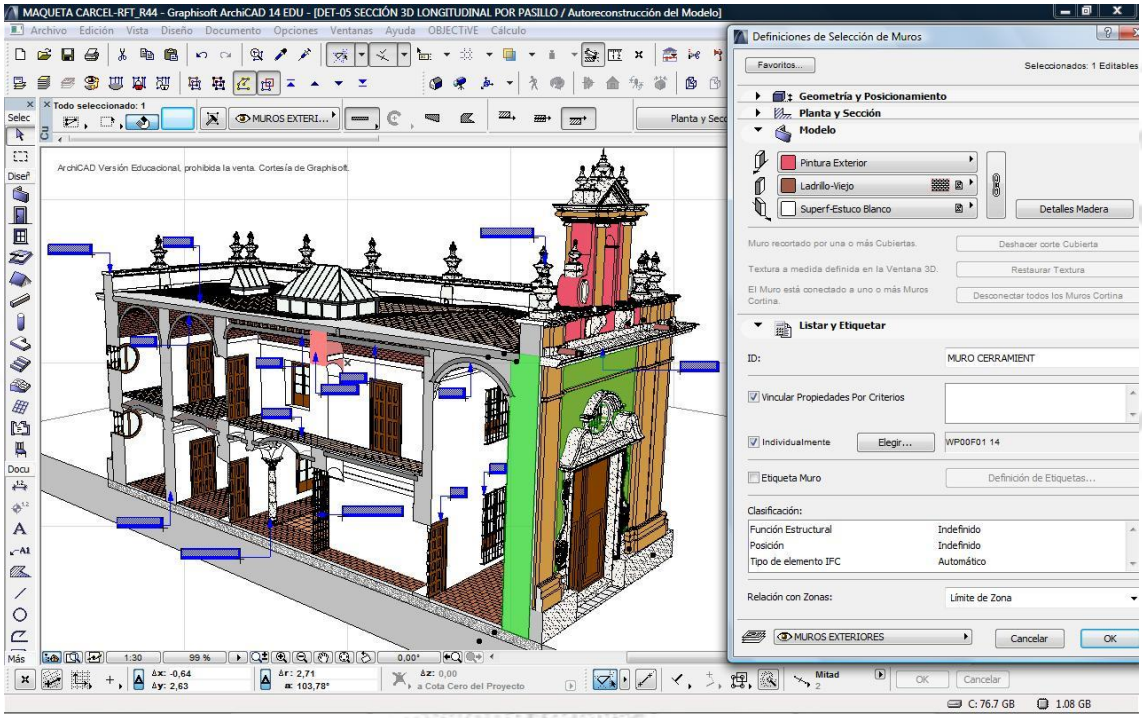
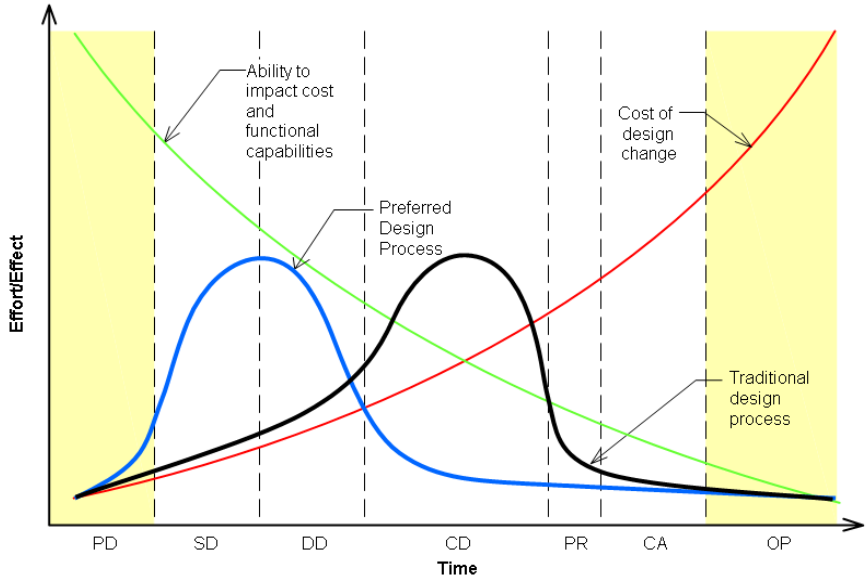


Fig. 69. Vista del modelo BIM desde el interfaz de ArchiCAD. Se muestra la edición del muro seleccionado (marcado en verde). Modelo de la antigua Cárcel de la RFT. Fuente: Elaboración propia. 2010.

El resultado no será un simple modelo 3D, sino contendrá además con gran detalle información adicional sobre los materiales del edificio y sus características. Es una base de datos tridimensional que hace un seguimiento de todos los elementos que componen el edificio. Esta información puede incluir área y volumen de superficies, propiedades térmicas, descripciones de las habitaciones, precios, información sobre especificaciones de producto, carpinterías y acabados. Al final podremos obtener un modelo virtual abierto, flexible que mejorará la comunicación con los colaboradores y el cliente, reduciendo tiempos y costes en su desarrollo.



Capacidad de reacción Coste de los cambios Esfuerzo Práctica Tradicional Esfuerzo Práctica Integrada
PD = Promoción; SD = Anteproyecto; DD = Diseño en Proyecto Básico; CD = Proyecto de Ejecución; PR = Licitación /Ejecución; CA= Explotación; OP = Reciclaje

Fig. 70. Evaluación del esfuerzo de los diseñadores frente al coste por cambios en el ciclo de vida del edificio. Fuente: Tesis Doctoral de Eloi Coloma, Fig. 2.12., p.59.

Fig. 71. Detalle 3D realizado al modelo de la Cárcel. Este modo de presentación permite visualizar las etiquetas identificativas de cada elemento e incorporar acotaciones. Trabajo realizado con el software ArchiCAD. Documentación del TFM. 2010. Elaboración propia

Fig. 72. Sección 3D realizada al modelo de la antigua Cárcel de la R.F. Tabacos de Sevilla. Trabajo realizado con el software ArchiCAD. Documentación del TFM. 2010. Elaboración propia

4.4.3. La inclusión del sistema BIM en la expresión gráfica

Los que iniciamos la andadura en el área de la expresión gráfica, experimentando con nuevas aplicaciones de diseño gráfico más específicas para el sector de la edificación, que en nuestro caso coincide con la entrada del nuevo milenio, nos inquietaba la renovación de las técnicas de representación y la adaptación de la enseñanza universitaria a las necesidades reales del mercado laboral en la edificación. Buscábamos introducir el diseño asistido por ordenador como una herramienta cotidiana e imprescindible por su precisión, aunque también éramos conscientes de que las inquietudes surgían por cubrir muchos vacíos detectados en el diseño arquitectónico. Por lo que las voluntades fueron dirigidas a encontrar una herramienta más precisa para el modelado de piezas y sistemas constructivos, pues la metodología establecida hasta entonces en el área de la arquitectura, ingeniería y construcción (2D y 3D, empleando el software AutoCAD) no llegaba a cubrir todas las necesidades.

Con la entrada del nuevo Plan de estudio de 1999 en la Escuela de Arquitectura Técnica de la Universidad de Sevilla, en el curso 2000/2001 un grupo de profesores del Departamento de Expresión Gráfica en la Edificación decidió utilizar un software específico de modelado en 3D para aplicarlo en la nueva asignatura optativa "Ampliación de CAD", concretamente ArchiCAD 6.5. de Graphisoft. Supuso un gran cambio en comparación con el trabajo desarrollado un año atrás utilizando AutoCAD, ya que evitábamos el modelado de los elementos constructivos por extrusión de polilíneas 2D para su conversión en objetos 3D. Paralelamente otro grupo de profesores del mismo departamento comenzaron su andadura con el software de modelado Allplan de Nemetschek.

Lo que nos aportaba estas nuevas aplicaciones de diseño gráfico era la creación de una maqueta tridimensional del edificio, con el gran avance que supuso disponer de herramientas específicas para incorporar elementos constructivos preconcebidos: forjado, pilar, viga, cubierta y escalera, con la única salvedad de introducirles parámetros dimensionales. Desde entonces siempre le hemos transmitido a nuestros alumnos que el modelar con estos software específicos es una indudable labor de construcción, de creación de prototipos, un ensayo previo a la posterior ejecución del edificio.

Desde que Graphisoft inició su andadura en 1983 con el software ArchiCAD, siempre ha intentado situarse en primera línea en el modelado tridimensional, con el compromiso de promover la adopción del diseño de la arquitectura basada en los objetos 3D que nos ofrece el sector de la construcción. El concepto de Virtual Building® o Edificio Virtual siempre ha estado presente desde su versión 6.5, comercializada en España en el año 2000.

Las constantes mejoras han ido encaminadas a maximizar la productividad y el aumento del valor de la obra arquitectónica, proporcionando al usuario un modelado flexible y personalizable, la adquisición de una documentación

precisa y facilitar el trabajo en equipo. Con la actualización a nuevas versiones (1999) en años sucesivos se daría un gran salto:

- Introduciría herramientas y nuevas Técnicas de Trabajo aún desconocidas: "Zona" para obtener información precisa sobre los espacios irregulares, la generación de techo y el recorte en 3D, y nuevos tipos de elementos: "Viga" y columnas redondas, para el modelado más exacto.

- Se nos permitía una acotación automática para obtener las dimensiones exteriores e interiores de los componentes de construcción seleccionados o todo el proyecto de forma inmediata.

- Facilitar la documentación y visualización de datos numéricos con la edición de bases de datos y un Formato auxiliar que ayuda a crear y modificar diseños y plantillas gráficas.

- Una colaboración integrada para que los grupos de trabajo se beneficiasen de la introducción de módulos de enlaces directos basado en referencias externas (como era gestionar estructuras repetitivas dentro de un proyecto mediante la edición de un solo archivo fuente. Y el concepto de trabajar en equipo o TeamWork).

- Se facilitaba el intercambio de archivos con las aplicaciones de CAD más extendidas: el formato DGN (para Bentley MicroStation) y los formatos DXF / DWG (para AutoCAD).

Otra de las mejoras que han aportado las actualizaciones es la constante renovación del interfaz gráfico que, además de ofrecer efectividad, permitían un trabajo más flexible, intuitivo y placentero. A los innumerables objetos de biblioteca básica de ArchiCAD se le incorporaba una información visual para las definiciones de objetos, donde ahora los usuarios podían elegir estilos de productos basados en fotos y dibujos de perfiles como una alternativa a los menús de textos con solo nombres del estilo.

Pero lo que realmente ha diferenciado los nuevos softwares (ArchiCAD y Allplan) de los programas más tradicionales como AutoCAD es que han permitido a los usuarios trabajar con objetos paramétricos, es decir, con datos enriquecidos, usualmente llamados por los usuarios "smart objects". La nueva metodología se basa en generar, no sólo dibujos 2D sino un modelo virtual completo del edificio, el cual conlleva toda una base de datos con amplia información constructiva.

Las mejoras en rendimiento y productividad de las aplicaciones que pregonaban el concepto de Edificio Virtual se han ido incrementando año tras año a medida que iban surgiendo nuevas versiones para cubrir las necesidades del usuario. Tanto Graphisoft con ArchiCAD y Nemetschek con Allplan, las dos empresas que iniciaron el camino de una nueva concepción en el diseño para la industria AEC, hoy comúnmente conocido como sistema o tecnología BIM, han demostrado su gran apuesta por la innovación y la adaptación a las necesidades del mercado.

Y son sus softwares los que nos han permitido experimentar y renovarnos en el uso de las nuevas tecnologías en representación gráfica para la construcción.

No fue hasta su versión 12, lanzada en ingles en el año 2007 y comercializada en versión española un año después, cuando introduce un nuevo concepto BIM. En Graphisoft le habían llamado siempre "Edificio Virtual". En su web se explicaba que "BIM significa trabajar directamente en el modelo de diseño en cualquier vista del proyecto (ya sea planos, secciones o incluso esquemas interactivos). Todo lo que necesita es hacer un cambio en el modelo de dibujo en un lugar de una sola vez: todas las vistas integradas del proyecto se actualizarán automáticamente"[64].

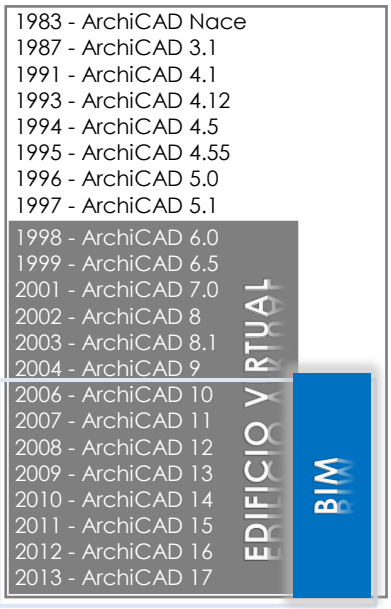


Fig. 73. Evolución del Software ArchiCAD desde su creación en 1983

Con esta versión Graphisoft se involucra seriamente en el concepto de Edificio Virtual Integral, al facilitar al arquitecto coordinar mejor los proyectos de ejecución con resultados más previsibles, la reducción de tiempo, sobrecostos, el proceso de construcción y la coordinación con los agentes intervinientes (ingenieros especialistas).

Introducirá el modelador MEP (Mecánica/Eléctrica/Fontanería) como una nueva extensión para el software BIM ArchiCAD 12[65].

El gran cambio iba a llegar con el establecimiento a ámbito internacional de unas nuevas reglas productivas en el sector AEC que venían a buscar un diseño más eficiente basado en la "sostenibilidad". Las nuevas normativas europeas iban a derivar en la aprobación del Código Técnico de Edificación Español (CTE), entrando en vigor en el año 2007. Por estudios se sabía que el 80% de las decisiones sobre eficiencia energética se tomaban en las primeras fases del

[64] *Conceptos de diseño en ArchiCAD 12:* http://www.graphisoft.es/producto/archicad/ac12/vb/
[65] MEP Modeler permite a los usuarios crear, modificar o importar redes 3D de instalaciones (conductos, tuberías y cables) y coordinarlos en el edificio virtual de ArchiCAD, utilizando las herramientas e interface habituales del programa. http://www.graphisoft.com/archicad/mep_modeler/

proceso de diseño; el 20% restante eran decisiones tomadas por los ingenieros en las últimas fases del proceso de diseño.

Graphisoft introduce con ArchiCAD 13 la aplicación EcoDesigner como método de análisis energético previo, en la fase del proceso de diseño del edificio, sobre las diferentes alternativas de diseño en función del consumo energético, la huella de carbono y el consumo energético mensual. El arquitecto o ingeniero podría disponer de una información de valor incalculable sobre el rendimiento energético del edificio antes de tomar la mejor decisión posible para ajustarse al CTE y satisfacer los intereses del cliente y de la persona de mantenimiento encargada del edifico.

4.4.4. El posicionamiento del Sistema BIM

En el año 2012 se produjo en España el primer Encuentro con Usuarios BIM, que ha derivado en el en el 1º congreso nacional sobre BIM[66].

También hay que valorar la disposición de muchos docentes por continuar su posgrado con la investigación en las "nuevas tecnologías" alojadas en el área de la expresión gráfica. Así, en el mismo año el profesor Eloi Coloma Picó presenta en el año 2012 su tesis doctoral *Tecnologia BIM per al Disseny Arquitectònic* después de una larga investigación en este campo.

Son numerosos los libros y artículos editados e innumerables los enlaces electrónicos que en estos últimos años tienen como principal tema el Sistema BIM. Hasta ahora lo publicado ha ido enfocado a la eficiencia y a la mayor productividad de los métodos de construcción, marcado por las insuficiencias de un sistema productivo a ámbito mundial poco eficiente y, por tanto, nada "sostenible". Al ser también uno de los pilares importantes de esta tecnología el uso de objetos paramétricos, se ha promulgado una extensa bibliografía sobre aplicaciones paramétricas dedicadas al diseño en las ramas de arquitectura, interiorismo e ingeniería. Aunque también están aflorando otros debates y tesis que vienen a emplazar al Sistema BIM como una "metodología de trabajo" más que un medio para poder tratar el edificio como una base de datos tridimensional.

Lo que sí han aflorado son los "plugin" o herramientas asociadas a las aplicaciones BIM que se han desarrollado paralelamente a los software de modelado motivado por las necesidades propias de los especialidades encontradas en la edificación. Al ser muy variada las diferentes ramas de ingenierías, han surgido aplicaciones para el análisis de eficiencia energética de los modelos generados, diseño y cálculo de los elementos estructurales en edificación, y el modelado de las redes de las variadas instalaciones de un edificio (conocidas con el nombre de MEP). Pero el concepto de trabajar en un modelo integrado está inquietando también a otras disciplinas fuera de la

[66] EUBIM 2013, celebrado en Valencia en mayo del año 2013 http://eubim2013.upv.es/

construcción, lo que ha motivado la incorporación del sistema BIM en la gestión de los recursos humanos de muchas empresas. Estos sectores han sido conscientes del potencial del modelo con información gráfica precisa y que soportaba además datos clasificados, siendo sabedores de la facilidad para gestionar los elementos integrantes y los materiales ubicados en el edificio, además de generar mediciones "reales" y obtener un presupuesto de gastos más depurado. Y como no, también dispondríamos del posicionamiento de todos las equipos laborales por áreas de trabajo.

Pero si nos derivamos a una de las ramas de la construcción, la especializada en intervenciones en edificios ya existentes, los caminos a recorrer son innumerables. Los que iniciamos hace varios años la andadura en el área del Patrimonio Histórico en general, vimos desde el primer momento que estaba falta de una metodología más efectiva que permitiera a sus moradores aplicar sus conocimientos de manea más fluida. Hay que reconocer que el empleo de la tecnología más avanzada en el Patrimonio, sobre todo arquitectónico y arqueológico, y que nos ofrece el mercado en constante progreso (como son las técnicas de fotogrametría, el escaneado en 3D, la termografía y los sistemas de información geográfica GIS), siempre ha existido. Pero esto es más por motivos de operatividad a la hora de trabajar en un edificio que ha evolucionado en su dilatada historia con sistemas de construcción diversos y que el paso del tiempo ha moldeado.

El problema puede estar que también se está falto de un sistema de trabajo mucho más operativo. De este modo, en estos cinco últimos años, puede que motivado por la crisis, el debate que se ha abierto en ámbito internacional se ha centrado en la necesidad de un sistema productivo sostenible, que ha sobrepasado el área de la construcción en general para tocar otros sectores más cercanos a nuestra vida cotidiana.

Actualmente este nuevo rumbo no se ha tomado seriamente en el Patrimonio Histórico, sea a ámbito nacional como internacional. Pero si es cierto que hay muchas inquietudes de docentes y profesionales que trabajan en el Patrimonio arquitectónico y arqueológico que buscan nuevas estrategias de conocimiento e intervención, surgiendo algunos equipos de investigación que buscan una protección del patrimonio haciendo uso de nuevas tecnologías pero sin menospreciar la eficiencia del sistema[67].

Debido a que actualmente se está iniciando su implantación, cada vez más, en sectores de la industria, no podemos decir que hay una experiencia contrastada cien por cien. Lo cierto es que en los países donde primero se tomó la iniciativa en el uso del BIM si han avanzado en la implementación (sin complejos) de la nueva tecnología: Australia, Reino unido y los países nórdicos entre otros.

[67] El grupo de investigación "Estrategias de Conocimiento Patrimonial", adscrito al Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica de la Universidad de Sevilla y dirigido por el arquitecto Francisco Pinto Puerto, está desarrollando en los últimos años una labor magnifica en la implementación de las nuevas tecnologías para una mejor gestión del patrimonio construido.

Hay que reconocer que en España hay poca experiencia adquirida por la incorporación de los modelos de información en las fases de redacción y ejecución de edificaciones de nueva planta, aunque es prácticamente nula en intervenciones patrimoniales. Pero estas primeras andaduras si nos han servido para apostar por un cambio en nuestras relaciones dentro del equipo multidisciplinar y con los demás agentes involucrados: promotores, constructores y usuarios finales.

4.4.5. La tecnología BIM como Proceso Integrado para la construcción

Si la meta principal del sistema BIM es crear un modelo digital completo de la obra, definiendo la geometría exacta de la edificación, así como calcular cantidades de materiales para su valoración, junto con dibujos y detalles coordinados para la posterior fase de ejecución, no debemos olvidar la participación de los especialistas dentro del equipo multidisciplinar para suministrar el nivel necesario de la información: ingenieros de instalaciones, estructuras y de eficiencia energética. Por tanto, al modelo arquitectónico hay que añadirle además los sistemas especializados modelados como otro elemento más integrado en la construcción (CORNICK, 1996). Así, softwares como ArchiCAD y Revit incorporan junto a sus herramientas básicas para representar elementos arquitectónicos un modelador de instalaciones MEP: canalizaciones, conducciones y equipos mecánicos. Esto dará lugar un proceso integrado de la construcción para satisfacer las necesidades de arquitectos, ingenieros, diseñadores, constructores y usuarios.

Esta doble complejidad de la construcción por los innumerables sistemas encontrados y las singularidades de cada agente participante, ha hecho que la industria proveedora de aplicaciones CAD/BIM desarrolle nuevos sistemas con metodologías integradas de gran alcance para poder manejar toda la información requerida por diferentes grupos involucrados en el equipo de trabajo; o sistemas que cambien información entre aplicaciones BIM con el propósito de trasmitir la información a otros programas para que sean capaces de manejar tareas específicas más eficientemente: diseño del sistema estructural y cálculo de la eficiencia energética del edifico entre otras (IBRAHIM y KRAWCZYK, 2003) y (BAEZA y SALAZAR, 2005). La figura siguiente sintetiza esta idealización del proceso integrado para la construcción empleando el modelo BIM (Fig. 76).

Thomas Fink (2004), en su publicación *Structural analysis, design and detailing using standard CAD software and standard Building Information Model* pregonaba que la filosofía de la construcción como un proceso integrado que tiene su inicio en el diseño, con participación de diseñadores y constructores, apenas estaba siendo implantada y utilizada en el medio. Lo sorprendente es que diez años después seguimos en una fase de implementación del sistema BIM.

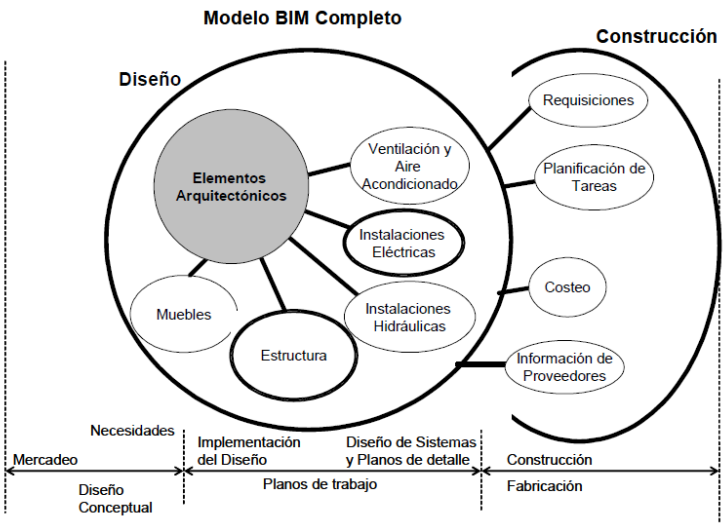


Fig. 74. Modelo Integrado de Información para la Construcción y su relación aproximada con las etapas de construcción. Fuente: Baeza P. J. y Salazar L. G. (2005). Redalyc.org/Ingeniería, vol. 9, núm. 3, pp. 69.

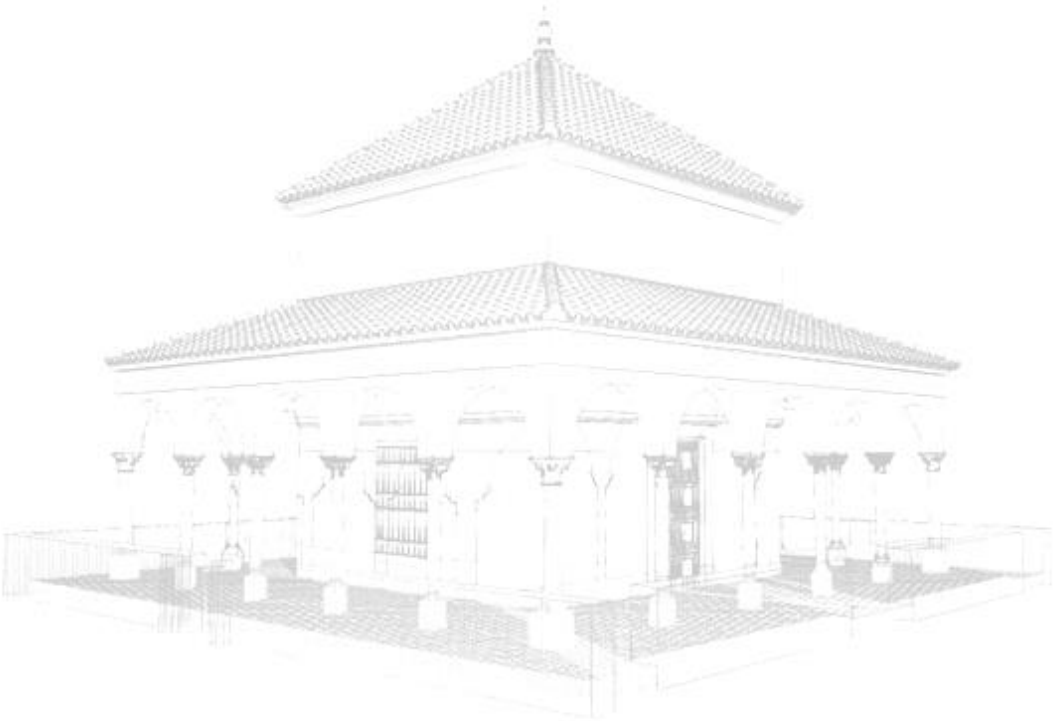
4.4.6. El ciclo de vida del edificio

El mantenimiento de un edificio y el cambio constante en su uso son estadios de la vida de un edificio que hacen cada vez más necesario disponer de un Modelo perdurable. El ciclo de vida de un edificio finaliza cuando por sus circunstancias actuales de habitabilidad hacen necesario una nueva restructuración que implicara una reforma en menor o mayor grado según los nuevos requerimientos, o que debido al alto grado de deterioro haya derivado en una pérdida de estabilidad que recomiende su demolición. En ambos caso el ciclo útil se clausura, siendo necesario generar una nueva documentación técnica para gestionar la intervención en el edificio e iniciar la planificación de los usos establecidos en el nuevo programa.

Actualmente somos partícipes de una sociedad muy globalizada, inversa todavía en una grave y larga crisis, derivada en gran medida por una construcción especulativa, descontrolada e insostenible en muchos países, entre ellos España. Esta situación, unida a la inactividad en el sector AEC por nuevas obras, ha motivado que cada vez sea mayor el número de proyectos de rehabilitación y reforma hasta igualar prácticamente en número a los de edificaciones de nueva planta. Según las expectativas actuales en el sector de la construcción, a muy corto plazo ese número se verá superado con creces en el sector del Mantenimiento[68]. Los fabricantes de software de CAD/BIM son conocedores de las políticas actuales de apostar por una construcción más sostenible y, por ello, están sacando aplicaciones específicas para trabajar en el área del mantenimiento del parque edificatorio en todas sus categorías, y ayudarnos a una mejor gestión de toda la información de la construcción.

[68] Video de ArchiCAD, donde se apuesta por el diseño sostenible y la renovación de la edificación: http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=b8upYvEk4mc#!

ArchiCAD ha introducido desde su versión 15 el flujo de trabajo de diseño y documentación BIM para proyectos de Rehabilitación y Reformas. Las nuevas funcionalidades de la aplicación *Reforma* de Allplan nos proporciona una herramienta especial para ayudarnos en la planificación de las tareas con la creación de los dibujos de las fases de reforma, demolición y nueva construcción. Y Autodesk Revit ya tiene en consideración la coexistencia de etapas temporales diferentes en un mismo modelo, para poder simular los estadios por los que pasa un edificio que se reforma y coordinar las operaciones a través del tiempo.



4.4.7. La interoperabilidad del modelo de información

El IEEE[69] define interoperabilidad como la habilidad de dos o más sistemas o componentes para intercambiar información. Si atendemos a la *Norma ISO19101, 2002: Modelo de referencia,* esta propone como definición de interoperabilidad:

> *la capacidad de los sistemas o componentes de intercambiar información y de poder controlar el procesamiento cooperativo entre aplicaciones. Para ello se precisan: capacidades de localización de la información y las herramientas de proceso; entender y usar la información y las herramientas descubiertas; poder desarrollar entornos de proceso para uso comercial sin restricciones de la oferta única en el mercado; poder desarrollar infraestructuras de información y procesamiento para servir a los distintos tipos de mercado y promover un mercado libre de competencia entre los consumidores.*

Este intercambio de información puede ser analizado desde cabos diversos: la de los datos, la de los servicios, la de las organizaciones y la de las aplicaciones (GORDON, 2003).

Pero en el campo de la edificación, con el actual ámbito de "eficiencia" que nos envuelve y nos atomiza, y sus variados adjetivos: energética, productiva, económica,…, es imperioso la reciprocidad de una información cada vez más especializada; no podríamos hablar de una edificación verdaderamente eficiente sin hacer uso de unas herramientas y/o equipos que pongan el término de interoperabilidad en el centro de toda la cadena de producción.

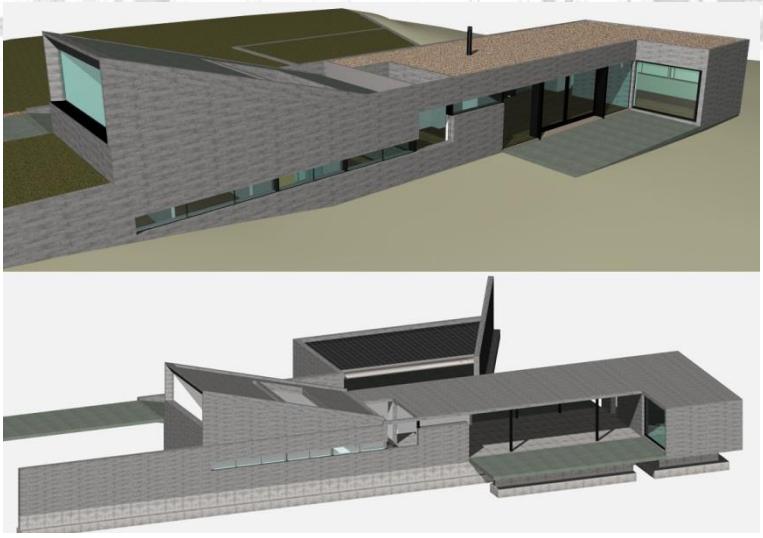


Fig 1. Maqueta de la Casa Bianna, completa y filtrada en fase estructural. 2011. Curso Interoperabilidad del Modelo Virtual (Building Information Modeling). Nivel II. Cfp. Universidad de Sevilla

[69] Institute of Electrical and Electronics Engineers (en español Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) es una asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización.

4.4.7.1. Una Interoperabilidad eficiente

En los capítulos anteriores hemos hablado de los sistemas de información BIM y SIG, considerados ambos como plataformas sistemáticas de toda la documentación gráfica e información tipológica imprescindible para documentar los hechos edificatorios o zonas territoriales. Pero lo más destacable actualmente es que constituyen un potente núcleo de información, preparado para ser explorado por cualquier agente de las disímiles disciplinas participativas en un proyecto arquitectónico.

Es evidente que el trabajo en cualquier campo es multidisciplinar, pero lo que hay que promocionar y reforzar hoy es la interdisciplinariedad, y ahora más que nunca se hace necesario de una herramienta que permita ese flujo de trabajo. La utilización de las aplicaciones BIM, convierte a la colaboración en una necesidad, que estará presente en todas las fases en las que se encuentre el proyecto: estudio y análisis previos, en la siguiente fase de proceso de diseño, en la posterior fase de ejecución y, como no, en el mantenimiento del edificio. Con unas herramientas adecuadas en el proceso de diseño que permita una total transparencia de los conocimientos entre las partes implicadas, a lo que le añadiremos la transferencia de los mismos, nos permitirá extender nuestra vista a un nuevo espacio interdisciplinar. Por tanto, para logar una *interoperabilidad eficiente* se debe salvaguardar un flujo de información sin deslices (NIETO, 2011:1).

4.4.7.2. BIM como plataforma de comunicación

El proceso de evolución de un edificio suele ser complejo desde que se inicia su diseño, pasando por la ejecución hasta el continuado mantenimiento, requiriendo de la colaboración estrecha entre varias personas que trabajan en ámbitos distintos. En la figura siguiente se muestra los diversos agentes que puede tener un proyecto de construcción: el arquitecto director, los ingenieros especialistas, los desarrolladores, los fabricantes, los responsables de las instalaciones, los contratistas o empresas constructoras, y los propietarios del edificio. Si este hecho lo trasladamos a una intervención en el patrimonio arquitectónico, supondría involucrar a otros agentes relacionado con las disciplinas especialistas en estudios de hechos históricos: arqueólogo, historiador y restaurador principalmente.

En cualquiera de los casos será el técnico director del proyecto y responsable de la grafía de la intervención, que habitualmente recae en un arquitecto cuando dispone de valores arquitectónicos, quien tiene el papel más importante en ese conjunto multidisciplinar, puesto que es el que debe proporcionar información continuamente sobre el estado actual del diseño a todos los miembros del equipo.

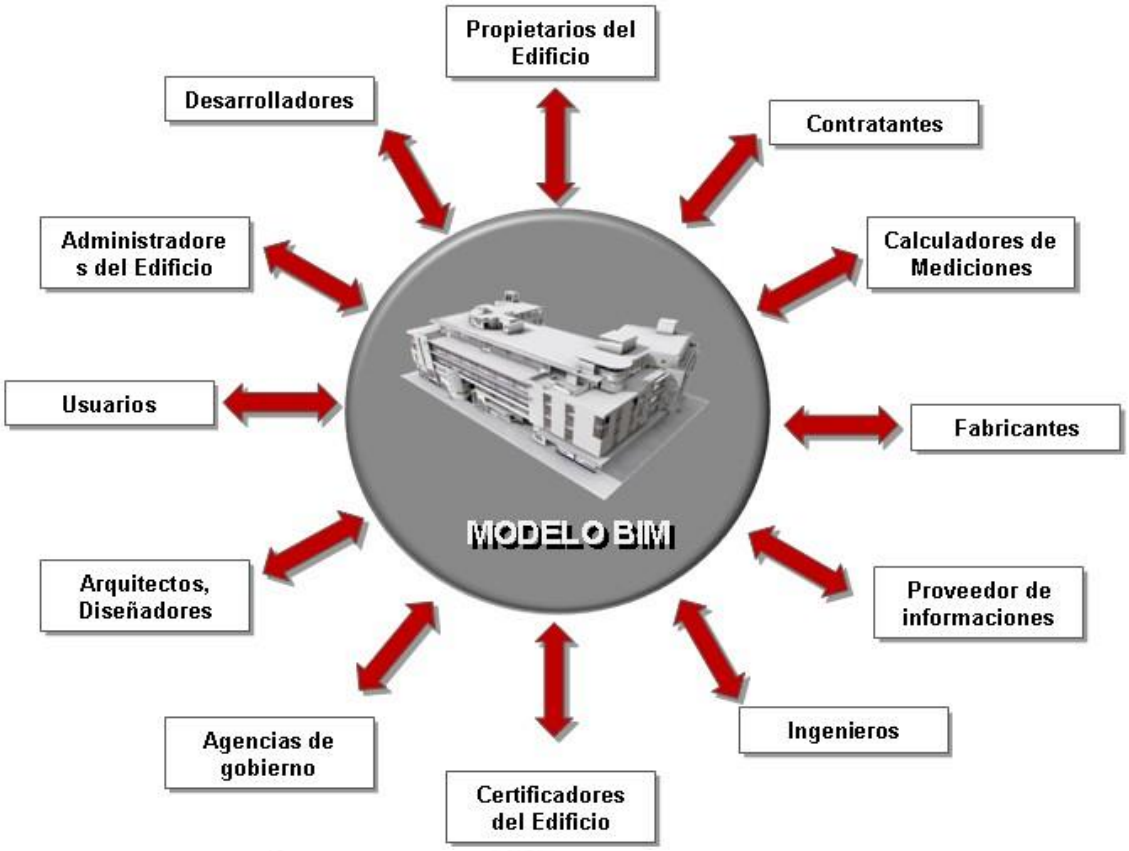


Fig. 75. El Modelo BIM como plataforma para la comunicación del proyecto. Imagen de GRAPHISOFT.

Pero como ya comentamos en apartados anteriores, la tecnología BIM no solo nos facilita el modelado del edificio sino aporta una plataforma de comunicación muy eficaz y automatizada para la industria de la construcción reforzando la colaboración entre los miembros del equipo de trabajo. Es lo que diferencia un proyecto realizado en un "entorno basado en datos" del ejecutado por CAD que emplea un "entorno basado en archivos".

La metodología seguida hasta hoy en el desarrollo de los proyectos arquitectónicos ha establecido dos grupos de procesos distanciados por etapas temporales: los paralelos y los finales. Mientras que los primeros han transcurridos simultáneamente a medida que avanzaba el proyecto intentando establecer una reciprocidad de información – como es el diseño y encaje de la estructura y las instalaciones en el modelo básico- , los segundos se han dejado para una etapa final actuando de manera autónoma a los primeros por el convencimiento que eran menos importantes en la consecución de unos objetivos finales satisfactorios (COLOMA, 2012: 94).

Pero debemos cambiar este procedimiento desfasado y apostar íntegramente por llevar todos los procesos en paralelo para evitar situaciones críticas y poco productivas. El modelo de información debe de subsistir en todo el ciclo de vida del edificio, desde el momento que iniciamos el modelado con una continuada actualización de la información mientras dura la ejecución de los trabajos, y como base de datos en el posterior mantenimiento del edificio.

El sistema BIM será un gran soporte al equipo multidisciplinar al proporcionarnos una automatización de procesos que facilita una transmisión de información fiable, por lo que debemos deshacernos de las anteriores técnicas bajo aplicaciones de CAD poco coordinadas e improductivas, que trasladaban a una posterior etapa procesos hoy en día primordiales: generación de mediciones de unidades de obra o la eficiencia energética del edificio.

4.4.7.3. El Intercambio de información en los proyectos

El intercambio de datos entre los miembros del equipo multidisciplinar basado en el uso de un modelo de información estará condicionado ciertamente por el flujo de trabajo del grupo y por las características de la información. Cada especialista podrá trabajar directamente sobre el mismo modelo BIM en la zona asignada para el estudio, análisis y desarrollo de la temática. De esta manera se conseguirá una mayor eficacia y seguridad en todos los campos disciplinares. Lo único que habría que realizar sería una estructuración de las tareas y unos objetivos previos a cumplir. Pero para los colaboradores externos que utilicen aplicaciones específicas de su área disciplinar y que necesiten el mismo modelo gráfico, se le debe facilitar una transmisión de todos los datos en un formato intercambiable fiable que nos asegure que no hay pérdida de información en el canje.

Cada vez más en los proyectos de obra nueva o rehabilitación, que necesiten un intercambio de información entre el diseñador y las ingenierías especializadas (estructura, instalaciones y valoraciones), se aspira a no utilizar las tradicionales representaciones ortogonales del edificio y sustituirlas por un único modelo virtual interoperable. Nos ahorraríamos así de una duplicidad del modelado en las diferentes aplicaciones, que no traerían más que errores por malas interpretaciones. En cambio, el procedimiento seguido para la transmisión de información en obras de intervención en el patrimonio arquitectónico sigue siendo muy tradicional, basado en representaciones vectoriales bidimensionales.

De igual modo que para edificaciones usuales, este nuevo proceder bajo el sistema BIM se debería implementar también en proyectos de intervención en edificios con valores históricos. Ahora el restaurador tendrá a su disposición todos los paramentos y pavimentos representados tridimensionalmente dentro de un modelo de información para que inicie una labor de análisis, identificación y sectorización de los paños a intervenir: sea limpieza o restitución. De la misma forma, el arqueólogo podrá realizar una lectura estratigráfica de los paramentos sobre fotografías rectificadas, al haberse mapeado las superficies con ortofotos tomadas en las fases de auscultación y catas.

La meta, por tanto, sería conseguir un intercambio de información eficiente, con la intención de que el modelo de información haga de coordinador entre los diversos profesionales que intervienen en la creación de los edificios, ya sea alojando directamente sus objetos u ofreciendo vías de comunicación controladas (COLOMA, 2012: 95).

4.4.7.4. El formato de intercambio

El formato de intercambio IFC (de las palabras inglesas "Industry Foundation Classes")[70] es un formato de archivo universal que permite compartir información entre distintos sistemas CAD/BIM y otros sistemas dentro de los sectores de la gestión de instalaciones y la edificación. Ha sido desarrollado por el IAI (International Alliance for Interoperability, actualmente difundido como BuildingSMART)[71] con el fin de convertirse en un estándar que facilite la interoperabilidad entre programas que gestionan información gráfica con datos alfanuméricos. Como es de especificación abierta no está registrado por ningún fabricante de software.

El lenguaje IFC interpreta las descripciones de los elementos del modelo de edificios 3D (como pueden ser forjados, muros, pilares, vigas, etc.) entre diversas aplicaciones de software durante el proceso de diseño. La diferencia con el formato estándar de elementos gráficos DXF, reside en que el formato IFC añade además las características geométricas 3D del objeto representado, las propiedades físicas, sus materiales y su relación con respecto a otros objetos arquitectónicos.

Los principales proveedores de aplicaciones que gestionan un modelado de información para la construcción, el análisis energético del edificio, el diseño y cálculo estructural, la ingeniería HVAC y la estimación de cantidades y costes, han incorporado en sus sistemas la compatibilidad IFC. La primacía principal del formato IFC frente a otros formatos de archivo radica en que la información BIM se preserva durante la transferencia de datos.

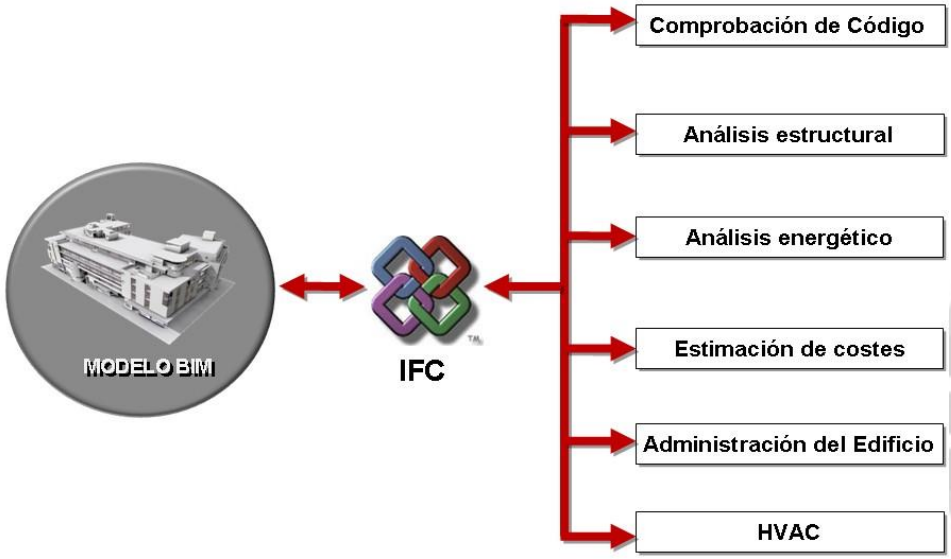


Fig. 76. Intercambio del Modelo BIM a través de IFC. Imagen de GRAPHISOFT

[70] El formato IFC tiene certificado ISO y se puede integrar en cualquier política de garantía de la calidad de la que disponga la oficina técnica.

[71] BuildingSMART sustituye a la Alianza Internacional para la Interoperabilidad (IAI). Es una alianza de organizaciones cuyo objetivo es llevar a cabo un cambio coordinado hacia la mejora de la productividad y la eficacia en el sector AEC en la gestión de la construcción y las instalaciones.

La colaboración entre el arquitecto proyectista y las diferentes disciplinas colaboradoras en cualquier proyecto de edificación actual se ha estandarizado con el formato IFC 2x3, que transmite la información gráfica visualizada en el modelo de información para que los especialistas no se vean en la necesidad de volver a modelar el edificio en su software específico. Pero esta labor puede ser insuficiente sino se sigue un protocolo de necesidades básicas y se consensua los requisitos específicos de cada disciplina.

4.4.8. Colaboración entre disciplinas

Desde las primeras ideas surgidas en la etapa de diseño de cualquier hecho edificatorio, pasando por la fase posterior de ejecución, como en la de gestión de la información durante el periodo que perdura el proceso de construcción, es necesario una comunicación constante y una colaboración fluidas entre todos los miembros del equipo del proyecto, más cuando las exigencias actuales lo convierten en una cuestión mucho más compleja. Pero para que la colaboración sea positiva, es necesario que se comparta los datos del proyecto de forma eficiente entre los miembros del equipo y los consultores externos. Para ello, es necesario aplicar métodos de colaboración capaces de adaptarse a la capacidad del equipo de trabajo como a la propia organización de la empresa. Las aplicaciones con tecnología BIM están apostando por incorporar este concepto de colaboración como base sustancial del sistema, ofreciendo soluciones de comunicación y de intercambio de datos integradas para todos los agentes intervinientes en el proyecto, sea entre los profesionales participantes para transferir información técnica, como con la propiedad para lograr una comunicación más interactiva.

Según el arquitecto Antonio Toca (2010) "para lograr esa integración es necesario desarrollar una maqueta virtual que sea lo más completa y detallada posible. Se requiere, además, que los diferentes especialistas trabajen de manera coordinada para integrar sus proyectos" y "finalmente se requiere que todos los integrantes del equipo que desarrolla el proyecto cuenten con el mismo programa y que su trabajo sea coordinado por un director que controle y administre su avance".

El hecho de que varias personas y equipos puedan colaborar de forma eficaz en un solo proyecto es una necesidad básica del trabajo en el sector AEC, donde tendría un coto importante la rehabilitación y el mantenimiento de edificios. Esta realidad habría que transportarla también a las intervenciones en un edificio histórico, sea con valores arquitectónicos o arqueológicos.

4.4.9. Colaboración interna en los estudios multidisciplinares

Para minimizar el riesgo de errores en la coordinación de proyectos es necesario establecer unos protocolos básicos de comunicación. Esta necesidad es imperiosa cuando los proyectos abarcan grandes construcciones, arquitecturas

complejas por su diseño vanguardista o intervenciones en edificios históricos con transformaciones heterogéneas en el tiempo, ya que se requiere que el Modelo de Información se comparta entre los miembros del equipo del proyecto.

Tradicionalmente el flujo de trabajo en los estudios de arquitectura se desarrollaba con aplicaciones de CAD en 2D y todos los documentos del proyecto se almacenaban en archivos independientes. Su ventaja principal era su gran flexibilidad, ya que cada miembro del equipo podía trabajar de forma continua y simultánea en archivos distintos. Pero el concepto de coordinación eficaz estaba ausente, ya que se reducía a una comparación visual de los dibujos superponiéndolos como archivos de referencia externos (Xref).

Con el Modelado de Información del Edificio, las aplicaciones BIM introducen un concepto muy diferente, según el cual los dibujos derivan del modelo y la coordinación de los distintos dibujos se lleva a cabo desde el propio software. Esta metodología va a traer menos errores en la fase de documentación, pero siempre y cuando el modelo BIM se renueve durante todo el ciclo de vida del proyecto y no se limite a un inicial e inamovible modelo 3D.

Actualmente todas las aplicaciones BIM existentes en el mercado (Allplan, ArchiCAD y Revit) comparten el mismo concepto básico, donde las soluciones se apoyan en la tecnología de un Servidor de Archivos, mediante la cual un archivo de proyecto se almacena en un equipo central y todo los usuarios trabajan en copias locales del archivo principal mediante sus aplicaciones BIM locales. Las diferencias pueden están más en la propia colaboración interna.

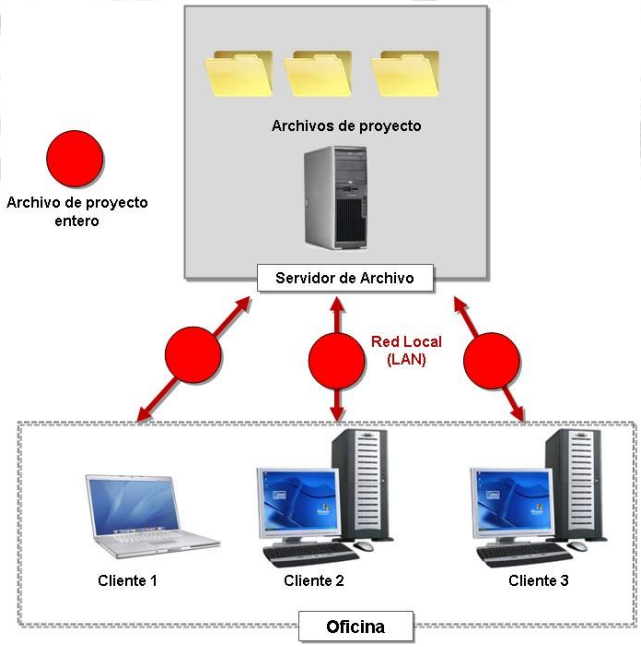


Fig. 77. El concepto de servidor de archivos. Colaboración de ArchiCAD GRAPHISOFT.

Para lograr un procedimiento eficaz y evitar conflictos entre los miembros del equipo, se hace imprescindible que todos los usuarios deban reservar determinadas partes de los proyectos antes de empezar a trabajar. Este flujo de trabajo está basado en una distribución de sectores bien diferenciados del

edificio a los diferentes miembros del equipo. Si se desea comprobar el estado actual del proyecto, los operarios deberán enviar y recibir los cambios entre sus archivos locales y el archivo principal del servidor[72].

Habitualmente se ha empleado la red local (LAN) para la transmisión de datos entre los equipos informáticos, pero ha tenido el inconveniente de que se han dilatado los tiempos de espera al trabajar en proyectos grandes. Aunque ahora son más habituales las conexiones a internet con banda ancha por la disponibilidad de alta velocidad para la transmisión de información.

En cualquier estudio multidisciplinar habitual dentro del sector AEC hay que destacar tres factores esenciales para que la colaboración funcione de forma eficaz y productiva: Comodidad, Flexibilidad y Velocidad en el uso de los sistemas de trabajo. Pero también los requisitos de colaboración los determinan en gran medida el tamaño y la estructura de la oficina o empresa. Mostraremos ahora como las necesidades específicas de las empresas de arquitectura variarán en función de sus tamaños.

4.4.9.1. Empresas pequeñas-medianas. Un flujo de trabajo dinámico

Estas empresas no suelen tener CAD Managers específicos en la equipo y demandan un flujo de trabajo dinámico para empezar y compartir nuevos proyectos de forma rápida y sin preparativos especiales. Por lo que la reserva del área de trabajo debe ser flexible y el acceso a los elementos del proyecto debe estar disponible de inmediato.

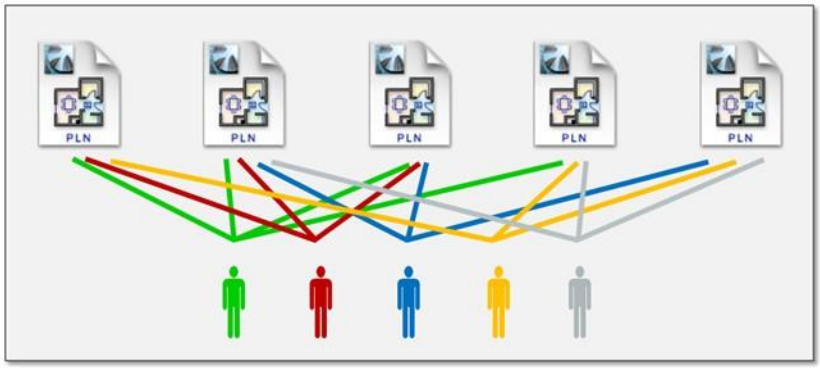


Fig. 78. El flujo de trabajo de las empresas pequeñas-medianas. Fuente: Colaboración de ArchiCAD.

El equipo suele ser pequeño por lo que la eficacia es su gran baza, lo cual hace que sea inadmisible una colaboración infructuosa por limitaciones del software. De este modo, los miembros del equipo, si lo desean, podrán trabajar de forma continuada en el proyecto aunque otros miembros del equipo estén modificando

[72] Ayuda en línea de Archicad. Colaboración: file:///C:/Program%20Files/Graphisoft/ArchiCAD%2016/Ayuda/Files/wwhelp/wwhimpl/js/html/wwhelp.htm#href=05_Collaboration.08.001.html#1001407

atributos, vistas o planos. Tiene la ventaja de que su implantación implicaría una corta fase de aprendizaje ya que no se requeriría una formación específica para la colaboración mediante ArchiCAD.

4.4.9.2. Empresas grandes. Flujo de trabajo controlado

En estas empresas se diferencian fundamentalmente de las pequeñas-medianas por estar implantado un organigrama de control ejercido por jefes en las diferentes áreas disciplinares que colaboran en los proyectos. Al igual que las anteriores, buscan una flexibilidad en el flujo de trabajo, pero basada ahora en otras particularidades:

- Gestión de usuarios avanzada: todos los usuarios deben conocer sus funciones y sus preferencias en todos los estamentos de la gestión.
- Asistencia multi-espacial: se necesita una comunicación eficaz basada en un único modelo, donde todos los usuarios puedan estar trabajando en el mismo proyecto desde oficinas distintas o incluso desde países distintos.

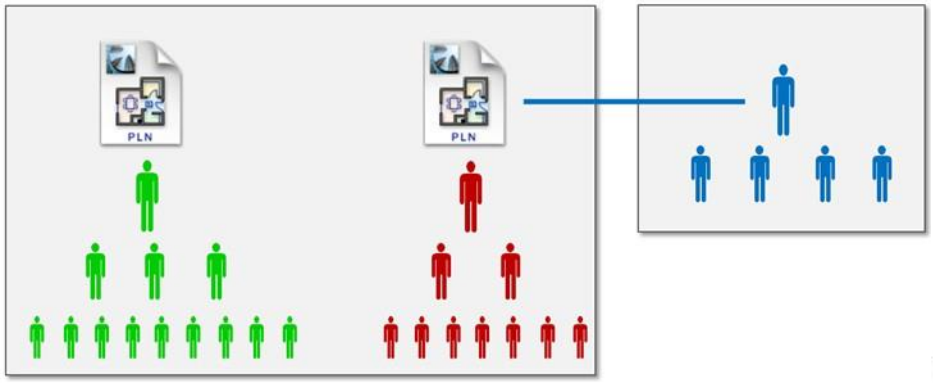


Fig. 79. Flujo de trabajo de las empresas grandes. Fuente: Colaboración de ArchiCAD GRAPHISOFT.

4.4.9.3. Arquitectos autónomos. Flujo de trabajo remoto

El último gremio que nos queda son los profesionales autónomo –arquitectos e ingenieros de diferentes especialidades- que actúan como colaboradores externos habitualmente o de forma temporal en proyectos multidisciplinares complejos. Pero para que este trabajo sea eficaz y productivo, los autónomos requieren una serie de prioridades:

- Trabajo a través de Internet.
- Trabajo con apenas formación adicional.
- Trabajar de forma tan sencilla como en los proyectos únicos, mientras se recibe la información necesaria de otros miembros del equipo.
- Tener una conexión plena y flexible con el proyecto, que permita trabajar tanto dentro de la oficina como en su propia casa.

Fig. 80. Flujo de trabajo de los arquitectos autónomos. Fuente: Colaboración de ArchiCAD GRAPHISOFT.

4.4.10. Los Sistema de Información Geográfica (SIG)

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, Geographic Information System) es una combinación organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada permitiendo satisfacer problemas complejos de sistematización, planificación y gestión de la misma[73].

Funcionaría como un modelo de una zona marcada en el territorio u otro espacio real determinado referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer unas necesidades concretas de información. Cualquier usuario dispondrá de un sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada.

Pero lo que particulariza verdaderamente este tipo de información es que posee dos vertientes diferentes: por un lado la vertiente espacial y por otro la vertiente temática de los datos. Mientras otros Sistemas de Información (como por ejemplo puede ser el de un banco) contienen sólo datos alfanuméricos (nombres, direcciones, números de cuenta, etc.), las bases de datos de un S.I.G. han de contener además la delimitación espacial de cada uno de los objetos geográficos.

Por ejemplo, supongamos que tenemos un suelo clasificado en el planeamiento urbanístico como "urbanizable". Este suelo acto para urbanizar tendrá una serie de particularidades, tales como su uso, su sistema de gestión, su edificabilidad, etc. Pero además tendrá su componente espacial, es decir, una delimitación concreta que se corresponde con su propia geometría definida en el plano.

Por tanto, el SIG tiene que trabajar a la vez con ambas partes de información: su forma perfectamente definida en plano y sus atributos temáticos asociados. Es decir, tiene que trabajar con su representación gráfica (cartografía) y con bases de datos a la vez, uniendo ambas partes y constituyendo con todo ello una sola base de datos geográfica. Esta capacidad de asociación de bases de datos temáticas junto con la descripción espacial precisa de objetos geográficos y las relaciones entre los mismos (que llamaremos *topología*) es lo que diferencia a un SIG de otros sistemas informáticos de gestión de información.

Podemos concluir que los Sistemas de Información Geográfica son herramientas que permiten a los usuarios gestionar la información del territorio, permitiéndoles crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

La tecnología SIG de se ha extendido en esta última década en infinidad de disciplinas, siendo utilizada para investigaciones científicas, la arqueología, la

[73] Definición de la NCGIA, National Center for Geographic Information and Análisis- USA).

geografía histórica, la evaluación del impacto ambiental, la planificación urbana, la cartografía, la sociología, la gestión de los recursos, gestión de activos, el marketing, la logística y otras más. Como ejemplo, un SIG podría permitir a los grupos de emergencia calcular fácilmente los tiempos de respuesta en caso de un desastre natural, el SIG puede ser usado para encontrar los humedales que necesitan protección contra la contaminación, o pueden ser utilizados por una empresa para ubicar un nuevo negocio y aprovechar las ventajas de una zona de mercado con escasa competencia.

4.4.10.1. El funcionamiento de un SIG

El SIG trabaja como una base de datos alfanuméricos con información geográfica que se encuentra asociada por un identificador a los objetos gráficos. Al señalar un objeto de un mapa digital se conocerán sus atributos e, inversamente, examinando un registro de la base de datos se podrá obtener su localización en la cartografía.

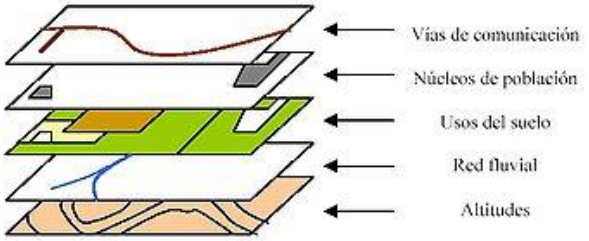


Fig. 81. Un Sistema de Información Geográfica puede mostrar la información en capas temáticas para realizar análisis multicriterio complejos. Fuente: Corso (2003). Enciclopedia Libre.

El Sistema de Información Geográfica nos proporcionará una información completa del objeto sustentada en los siguientes apartados:

- Localización: preguntar por las características de un lugar concreto.
- Condición: el cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.
- Tendencia: comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica.
- Rutas: cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
- Pautas: detección de pautas espaciales.
- Modelos: generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

Las aplicaciones SIG realizan una gestión de información espacial, separándola en diferentes capas temáticas para clasificarla y almacenarla, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y además facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.

Lo interesante de estas herramientas de información es que el campo de aplicación es muy variado, con la ventaja añadida de que pueden utilizarse en la mayoría de las actividades con un componente espacial[74].

4.4.10.2. Topologías, modelos de datos y tipos de SIG

En función del modelo de datos implementado en cada sistema, podemos distinguir tres grandes grupos de Sistemas de Información Geográfica: SIG Vectoriales, SIG Ráster y SIG con modelo de datos Orientados a Objetos. Los sistemas existentes en la actualidad pertenecen a los dos primeros grupos (vectoriales y ráster). Los primeros utilizan líneas o vectores para delimitar los objetos geográficos, mientras que los SIG ráster utilizan una retícula regular para documentar los elementos geográficos que tienen lugar en el espacio.

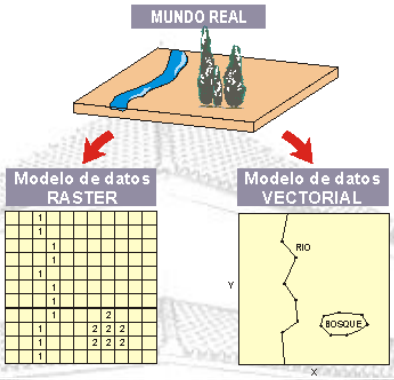


Fig. 82. Tipologías más utilizadas del Modelo de datos relacional. Fuente: CCIDEP Comité coordinador de la infraestructura de datos espaciales.

4.4.10.2.1.Los SIG Vectoriales

Son aquellos Sistemas de Información Geográfica que para la descripción de los objetos geográficos utilizan vectores definidos por *pares de coordenadas* relativas a algún sistema cartográfico. Con un par de coordenadas y su altitud gestionan un punto o vértice topográfico, con dos puntos generan una línea, y con una agrupación de líneas forman polígonos. De entre todos los métodos para formar topología vectorial la forma más sólida es la *topología arco-nodo*, cuya lógica se puede entender en el siguiente esquema (Fig. 83).

La idea es muy sencilla. La topología arco-nodo basa la estructuración de toda la información geográfica en pares de coordenadas, que son la *entidad básica* de información para este modelo de datos. Con pares de coordenadas (puntos) forma vértices y nodos, y con agrupaciones de éstos puntos forma líneas, con las que a su vez puede formar polígonos.

[74] http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_Informaci%C3%B3n_Geogr%C3%A1fica: Sistema de Información Geográfica. Página modificada el 3-09-2010. Consultado: 21-09-2010.

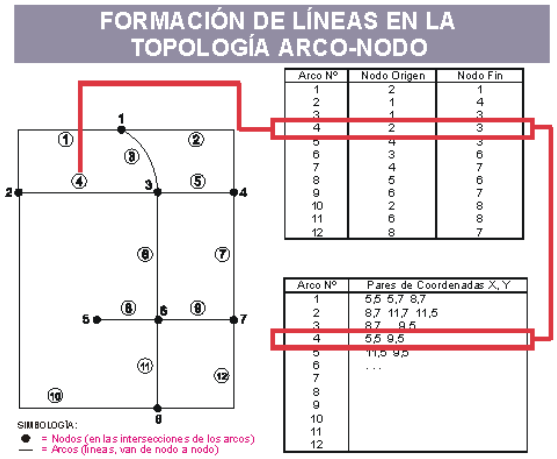


Fig. 83. Formación de líneas en la topología arco-nodo. Fuente: CCIDEP Comité coordinador de la infraestructura de datos espaciales.

Los sistemas informáticos la utilizan por una interconexión de varias bases de datos a través de identificadores comunes. Estas bases de datos serían como tablas con datos ordenados de forma tabular, que contienen columnas comunes a partir de las cuales se pueden relacionar datos no comunes entre una y otra tabla.

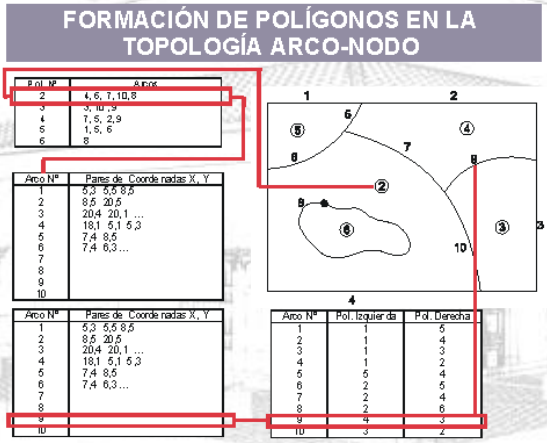


Fig. 84. Formación de polígonos en la topología arco-nodo. Fuente: CCIDEP Comité coordinador de la infraestructura de datos espaciales[75]

El modelo de datos vectorial es adecuado cuando se trabaja con objetos geográficos donde sus límites están bien definidos, como pueden ser carreteras, fincas urbanas, contornos de prospecciones en el terreno, etc.

4.4.10.2.2.Los SIG Ráster

Los Sistemas de Información Ráster basan su funcionalidad en una concepción implícita de las relaciones de vecindad entre los objetos geográficos. Su forma de proceder es dividir la zona de afección de la base de datos en una *malla regular de pequeñas celdas* (denominados *pixels*) y atribuir un valor numérico a cada celda como representación de su valor temático. Dado que la malla es regular (el tamaño del pixel es constante) y si se conoce la posición en coordenadas del

[75] http://www.ccidep.gob.pe/index.php?option=com_content&task=view&id=11&Itemid=25

centro de una de las celdas, se puede decir que todos los pixels están georreferenciados.

Se podrá tener una descripción precisa de los objetos geográficos contenidos en la base de datos reduciendo el tamaño del pixel, lo que dotará a la malla de una resolución alta, aunque esto depende de la escala elegida. El inconveniente será que un aumento de la resolución implicaría un mayor número de filas y columnas en la malla, un mayor esfuerzo en el proceso de captura de la información y una mayor capacidad de computación a la hora de procesar la misma.

El modelo ráster es más apropiado que el vectorial cuando hay que describir *objetos geográficos con límites difusos*, como por ejemplo puede ser la dispersión de una nube de contaminantes, donde los contornos no son absolutamente nítidos.

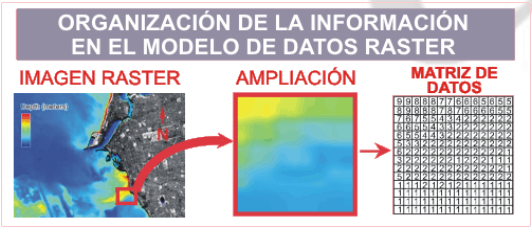


Fig. 85. Organización de la información en el modelo de datos Ráster. Fuente: CCIDEP

4.4.10.2.3.Los SIG Orientados a Objetos

Los S.I.G. orientados a objetos plantean un cambio en la concepción de la estructura de las bases de datos; mientras los modelos de datos, vectorial y ráster, estructuran su información mediante capas, los sistemas orientados a objetos intentan organizar la información geográfica a partir del propio objeto geográfico *y sus relaciones con otros*. De este modo, los objetos geográficos están sometidos a una serie de procesos y se agrupan en clases entre las cuales se da la herencia.

◦Otra diferenciación es que los SIG orientados a objetos introducen un *carácter dinámico* a la información incluida en el sistema, frente a los primeros modelos de datos que tienen un carácter estático. Así, el modelo orientado a objetos es idóneo para situaciones en las que la naturaleza de los objetos que tratamos de modelar es cambiante en el tiempo y/o en el espacio.

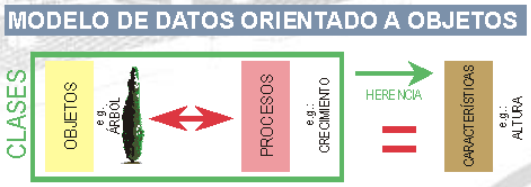


Fig. 86. Modelo de datos orientado a objetos. Fuente: CCIDEP

Para poner un ejemplo de organización de la información con este modelo de datos, pensemos en un sector forestal, dentro del cual encontramos árboles diferentes en tamaños y formas debido a su proceso natural de crecimiento -factores de espacio, tiempo, luz, ...-; este crecimiento es heredado por el sector y da como resultado que su altura sea cambiante con el tiempo. Luego, en este caso los *atributos temáticos* de cada objeto geográfico son el resultado de aplicar unas determinadas funciones que varían según las *relaciones* del objeto de referencia con su entorno.

Sin duda alguna, este modelo de datos es más aconsejable que cualquier otro para trabajar con datos cambiantes, como son los geográficos, pero se

encuentra con dificultades de implementación en los actuales Sistemas de Gestión de Bases de Datos (SGBD y SIG). Aunque ya se puede ver implementaciones de este tipo de organización de datos en algunos SIG comerciales, si bien serían aproximaciones todavía incompletas donde su funcionalidad tiene que ser mejorada en los años venideros.

Está claro que para su aplicación al patrimonio arqueológico y arquitectónico, afectado por numerosos factores que lo hacen transformables en el tiempo, la ventaja que permite esta estructura de datos frente a los otros sistemas SIG estáticos es evidente y fundamental por la *dinamicidad de los datos*. Si se parte de una serie de parámetros establecidos en el comportamiento de los objetos, podemos simular su evolución futura, lo que constituye un gran progreso si se trabaja en entornos en los que se requiere simulación de situaciones potenciales: pinturas rupestres amenazadas por cambios en las condiciones ambientales de la cueva, la vegetación en jardines históricos, etc.

4.4.10.3. Los Sistemas de Información Geográfica en la representación del Patrimonio

Los procesos de documentación son imprescindibles en disciplinas como la restauración y la conservación del patrimonio (al igual que en la arqueología) para ubicar gran cantidad de información sobre la superficie del elemento examinado, permitiendo no solo su edición y visualización, sino incluso el análisis de dicha información. La problemática surge cuando hay que gestionar los datos, específicos a cada disciplina, relacionados con el elemento patrimonial (TORRES et al., 2012).

En el Patrimonio el SIG nos permite introducir, clasificar y consulta datos relativos al análisis, a la conservación y a las propuestas de intervención del lugar o edificio histórico. Pero hasta ahora ha funcionado como una base de datos gráfica en la que los elementos registrados se organizan en entidades vectoriales (punto, línea y superficie) georeferenciadas, cuantificables de forma automática y contenedoras de información clasificada. Esta limitación a la representación bidimensional hace que merma la gran efectividad en gestión de información, sobre todo a la hora de afrontar objetos arquitectónicos o de infraestructura urbana dotados de características volumétricas y espaciales (ANGULO, 2012:13). El modo de registro geoespacial ofrecido por el SIG, basado fundamentalmente en las lecturas de las planta de áreas y edificaciones, es inadecuada para comprender la complejidad espacial, los desniveles y la adaptación a un terreno, peculiaridades intrínsecas y del entorno esenciales para investigar el patrimonio construido.

Actualmente la Informática Gráfica nos está ayudando a una mejor asimilación y entendimiento de la información que recibimos: "permite reconsiderar los aspectos más visuales y menos verbales y abstractos de nuestro pensamiento, a la vez que permite equilibrar los mismos procesos mentales de abstracción entre lo producido por las palabras y lo producido por las imágenes" (FEITO Y SEGURA,

2010: 88). Y una buena visualización implica un buen análisis gráfico. Por ello, el sector de la representación geográfica tiende también a acercarse a una visualización tridimensional del territorio. Al introducir los datos espaciales, todo el geoconocimiento obtenido debe ser también 3D[76].

Es consabido por muchos profesores y profesionales que están relacionados con la expresión gráfica que para una mejor comprensión e interpretación de la información recibida es que se acerque a la realidad. En el campo de la Información Geográfica y su aplicación en el mundo de la arqueología es muy importante la definición exacta del objeto, y es por lo que la modelización de la información 3D es esencial para el estudio del espacio terrestre.

Los SIG están muy extendidos en el campo del patrimonio, sobretodo en el de la arqueología. Su uso se hace casi imprescindible en cualquier trabajo de prospección e investigación. Esto ha motivado que grupos de investigadores y usuarios del CIG[77] lleguen a establecer diez prioridades básicas, bien contrastadas con las disciplinas afectadas, encaminadas al mejor uso de los SIG en el patrimonio histórico. Entre ellas debemos destacar:

- Adquisición e integración de datos espaciales.
- Computación distribuida.
- Extensión de las representaciones geográficas.
- Aspectos cognitivos de la información geográfica.
- Interoperabilidad de la Información geográfica.
- Análisis espacial en entornos SIG.
- Infraestructuras de datos espaciales.

Los profesores Francisco Feito y Rafael Segura del Departamento de Informática de la Universidad de Jaén, emplean un tetraedro como modelo para explicar las Herramientas SIG 3D. El tetraedro, definido por sus cuatro vértices, se apoya en la superficie que forma el personal humano junto con el sistema informático: hardware, software (los dos nodos restantes). En el vértice superior estará el objetivo: la generación de geoconocimiento aplicado al campo patrimonial, como la arqueología.

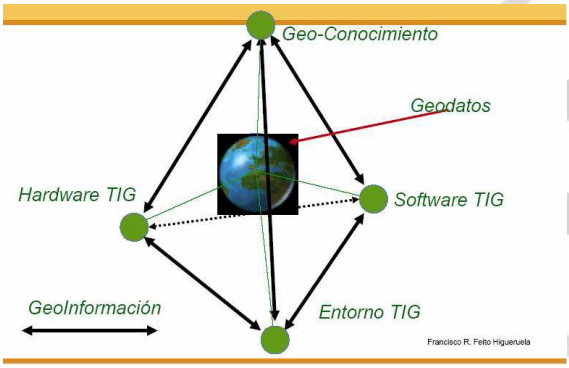


Fig. 87. Asimilación de un Tetraedro como un SIG 3D. Fuente: Virtual Archaeology Review, 2010, pp. 88.

[76] En estos últimos años se ha avanzado mucho en las aplicaciones de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (llamadas TIC) aplicadas al ámbito geográfico

[77] El consorcio de universidades para la Ciencia de la Información Geográfica (CIG) y el UCGIS (www.ucgis.org).tiene como objetivo de proponer prioridades en cuanto a la investigación en SIG y colaborar en la expansión y aplicabilidad de su desarrollo

Pero para que el sistema funcione es necesario de un núcleo: los datos (*Geodatos*). Con ellos el SIG 3D se establece como una herramienta al servicio del Patrimonio. Donde el factor humano es fundamental, siendo necesario especialistas en SIG que trabajen coordinados con los diferentes especialistas: arqueólogos, arquitectos, historiadores, restauradores etc., y que se asegure en todo proyecto la obligada interdisciplinariedad.

En este nuevo camino de los sistemas de información por el campo tridimensional encontramos en el mercado varias aplicaciones SIG 3D, las cuales están facilitando la visualización en 3D de amplias zonas territoriales con el añadido de disponer de gran información tanto de su ubicación geográfica como de su uso, sus características físicas y ambientales, etc. Estas herramientas están contribuyendo claramente a la extensión de la *arqueología virtual*[78] como gran ayuda al trabajo de investigación y difusión del patrimonio arqueológico y arquitectónico.

Actualmente ArcGIS[79] es el software más extendido a nivel mundial, que comercializa la empresa Esri, constituyendo un completo sistema de información que permite crear, analizar, almacenar y difundir datos, modelos, mapas y globos en 3D, poniéndolos a disposición de todos los usuarios según las necesidades de la organización.

4.4.11. La implementación de otros Sistemas de Información

Si retrocedemos una década, veremos que las principales propuestas de modelos digitales que incluían información documental estaban en su mayoría orientadas a la difusión del patrimonio, lejos de una gestión interdisciplinar que permitiera una conexión bidireccional entre la documentación y el modelo 3D. Destaquemos el uso de "hipertexto" de Agnello et al. (AGNELLO, 2003) un método que no puede ser usado para sistemas con información estática. El grupo de Ioannidis (IONNIDIS, 2003) utiliza un sistema GIS conectado al modelo 3D para realizar "kioskos" informativos en Micenas, pero sin posibilidad de consultar o editar desde el modelo 3D. Hodač (HODAČ, 2005) usa un modelo bidimensional del edificio (la planta) para indexar la información, vinculando a dicha representación el modelo 3D. Esto impide asociar información a elementos tridimensionales, aunque se pueda navegar por el modelo. Ese sistema se asimila al de Naglič (NAGLIČ, 2003), que emplea un SIG 2D. El trabajo de Meyer et al. (MEYER, 2006) es interesante al centrarse en el diseño de sistemas accesibles vía web, aunque la interacción se limita a componentes predefinidos (LUZÓN, Mª V. et al., 2012) y (TORRES et al., 2012).

En el año 2009 el catedrático Juan Carlos Torres (TORRES, 2009) ya plantea la necesidad de desarrollar herramientas adaptadas a la gestión de patrimonio,

[78] Ver anexo 8.1: Términos Definiciones y Términos empleados en el campo virtual aplicado al patrimonio.

[79] http://www.esri.es/es/productos/arcgis/ visitada el 20-11-2010, y http://www.arcgis.com el 01-10-2013.

con una funcionalidad semejante a la de un sistema GIS. Este mismo autor, junto a su grupo de investigación[80] (TORRES et al., 2012), han desarrollado un sistema experimental (chGIS o CHIS, *Cultural Heritage Information System*) inspirado en los GIS, para la gestión de información asociada a elementos patrimoniales.

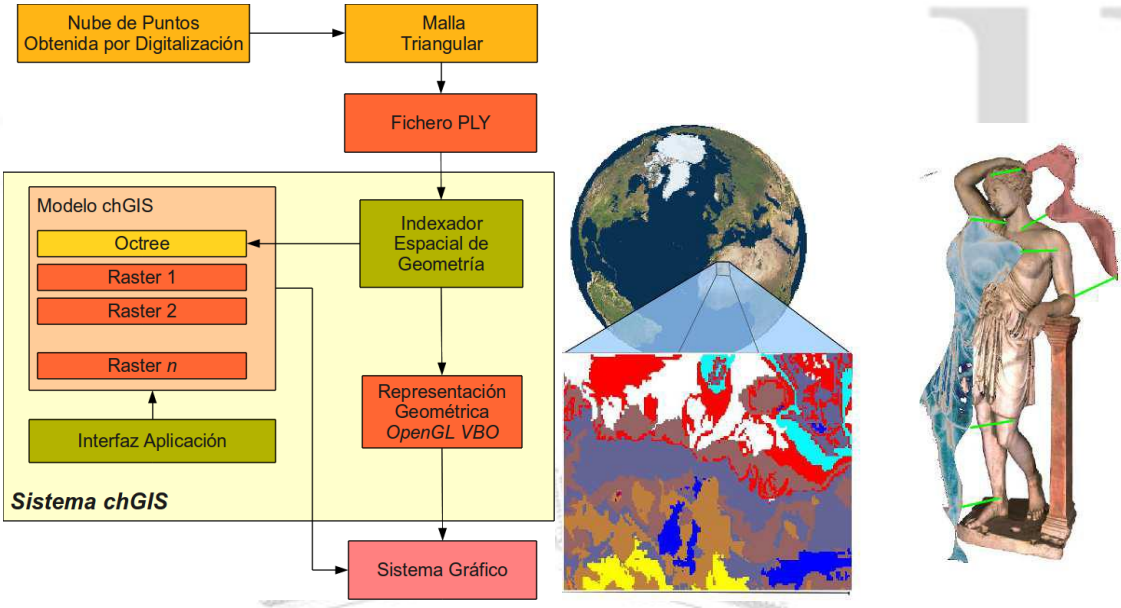


Fig. 88. a) Estructura del sistema CHIS; b) Proyección en un mapa 2D (izquierda) y en un modelo 3D (derecha). Fuente: Revista VAR, Vol.3, Nº 5, pág. 55. 2012

El sistema CHIS permite anotar las actuaciones realizadas de limpieza en un sector de una escultura, o disponer de planos de forma automatizada con información de las alteraciones de una fachada a partir de la información introducida en 3D por el técnico restaurador. Es decir, el mismo tipo de operaciones que se realizan sobre un GIS, pero trabajando sobre el modelo 3D digitalizado, en lugar de sobre mapas.

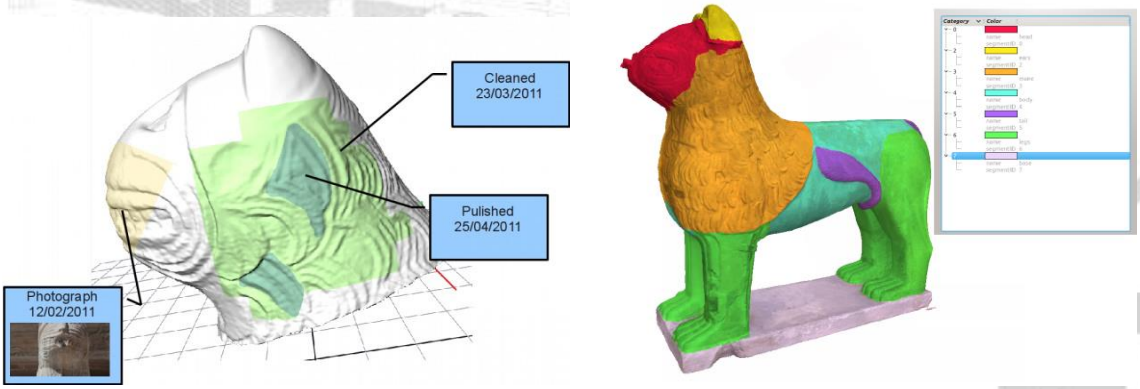


Fig. 89. a) Las operaciones realizadas por el restaurador (en imágenes) quedarán insertas en el modelo 3D, respecto a la fotografía con el estado anterior; b) Segmentación de capas del modelo desde la aplicación CHISel.

[80] El grupo de investigación (TIC-167) ha creado el Laboratorio de Realidad Virtual para promover y apoyar la investigación en Informática Gráfica y Realidad Virtual, prestando servicios de digitalización 3D, representaciones virtuales, visualización inmersiva y desarrollo de software gráfico interactivo. Está integrado en el Centro de Investigación en Tecnologías de La Información y de las Comunicaciones de la Universidad de Granada (CITIC-UGR).

Si nos centramos en una prospección arqueóloga, al confeccionar la documentación inicial del yacimiento (o estudio paramental) se requiere localizar y documentar en el espacio los distintos restos encontrados. Esta asociación de la información a su posicionamiento en el lugar permite a los especialistas del Patrimonio el poder realizar análisis o valoraciones más amplios de la información disponible. La distribución espacial de los restos podría facilitar el análisis acerca de las costumbres que tenían sus pobladores o el tipo de actividades que realizaban (SOLER et al., 2012:113).

En este trabajo se ha presentado un enfoque novedoso para el diseño, desarrollo e implementación de sistemas de información para patrimonio cultural. Esta nueva estrategia se basa en la asociación de capas de información sobre la superficie tridimensional del objeto, permitiendo gestionar y visualizar sobre la misma cualquier tipo de información, distribuida espacialmente o no, relacionada con dicho objeto.

Para evaluar la viabilidad y eficacia del diseño de sistema de información CHIS, han implementado la funcionalidad en un software prototipo CHiSEL[81], actuando sobre varios modelos 3D obtenidos mediante digitalización con escáner laser; que abarcan pequeñas piezas, una bóveda de mocárabe de la sala de los Reyes de la Alhambra y el foso del anfiteatro de la ciudad de Itálica (Sevilla). Entre sus cualidades destaquemos:

- Tratamiento y gestión integral de toda la información relacionada con un objeto arquitectónico o yacimiento arqueológico. La información almacenada en capas permite incluir cualquier tipo de información: valores numéricos, registros de base de datos, información geométrica, archivos.

- Visualización de la información estructurada en capas directamente sobre la superficie del modelo 3D.

- El sistema permite consultar información en dos sentidos: Se puede consultar, a partir de un punto de la superficie, qué elemento de información de una capa está asociada a la superficie en dicho punto. Por otro lado se permite consultar, a partir de un valor o elemento, qué porción de superficie tiene asociada dicho valor.

- Histograma de distribución de la información sobre la superficie del objeto.

- Generación automática de nuevas capas de información: El sistema proporciona una gama de herramientas que permiten generar información sobre el modelo de manera automática.

[81] La aplicación se ha escrito en C++ usando OpenGL (http://www.opengl.org) y SQLite (http://www.sqlite.org) como sistema de gestión de base de datos.

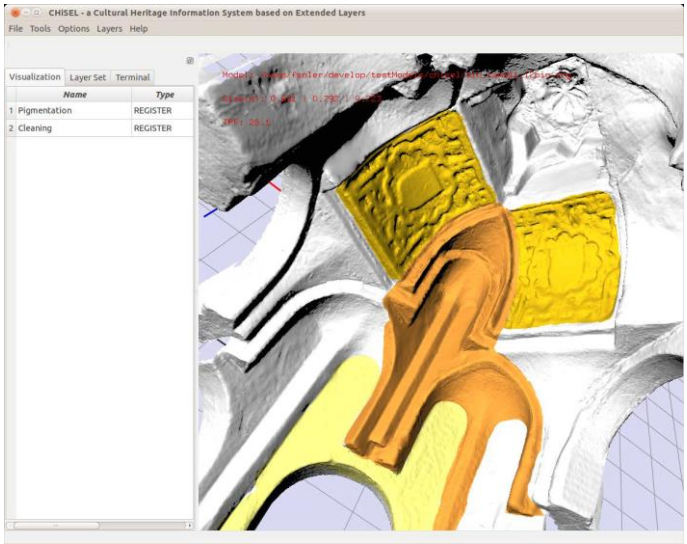


Fig. 90. Aspecto del interfaz del prototipo CHiSEL con el modelo 3D digitalizado de la Sala de los Reyes de la Alhambra. Se visualizan las capas de información (ráster) relacionadas con una actuación de limpieza y con la documentación de los restos de decoración. Estas operaciones no pueden realizarse con un GIS 3D (una representación ráster 3D requeriría demasiada información y no trabajaría con topología 3D). Y una representación vectorial 3D almacenaría propiedades a nivel de triángulo, con lo que la resolución estaría condicionada por la resolución de la digitalización.

Por los resultados obtenidos al día de hoy, podemos concluir que el Sistema de Información propuesto (CHIS) ha logrado unos grandes avances respecto al SIG tradicional. Hay que partir de la base que este sistema trabaja sobre una entidad única obtenida por un equipo de medición, como es el escáner, y que su gran logro es permitir una discriminación para gestionar información por categorías.

Siguiendo esta línea de establecer sistemas de información y gestión del patrimonio, se encuentra el grupo de investigación PAI HUM7991 de la Universidad de Sevilla. En uno de sus últimos trabajos publicados[82] se han sentado las bases para la construcción de una base gráfica, basada en un modelo infográfico, que "sea capaz de contener y gestionar toda la información generada sobre un monumento histórico, facilitando relaciones de transversalidad entre los distintos análisis que abordan el conocimiento del edificio" (ANGULO, 2012:11).

Para el estudio cualitativo y cuantitativo de las principales patologías que presentaban los restos arquitectónicos de la Casa Hylas (del conjunto arqueológico de Italia), además de realizar levantamientos en zonas sin información gráfica, el empleo exclusivo del SIG tradicional 2D suponía limitaciones desde el principio. Era necesario un sistema que permitiera adquirir las características morfológicas de los restos arqueológicos, pero además debía de satisfacer necesidades primordiales como: la edición automática de planimetría proveniente de un modelo 3D flexible; las entidades del modelo deberían contener y generar información, transcendiendo la mera maqueta virtual de gráficos vectoriales; y vincular los datos del modelo a una base de datos exportable.

[82] Construcción de la base gráfica para un sistema de información y gestión del patrimonio arquitectónico: Casa de Hylas, en el conjunto arqueológico de Itálica. Línea investigadora: Modelos Infográficos para la Gestión de la Información Arquitectónica. ETSA Sevilla.

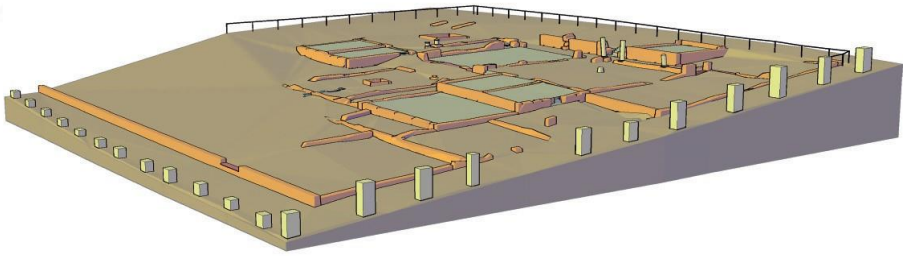


Fig. 91. Levantamiento 3D completo de la Casa de Hylas. Fuente: Rev. Arqueología de La Arquitectura, 9, 2012, pág. 21.

Se empleó el software AutoCAD Architecture para la creación de las entidades y conformar la base gráfica del conjunto investigado. Pero, sin entrar en un profundo análisis de sus peculiaridades para el modelado de objetos patrimoniales[83], la aplicación tiene una gran virtud respecto a la nativa AutoCAD, como es configurar una base de datos externa[84]; lo que permitía establecer un trasvase de información recíproco. Según el profesor Roque Angulo (2012: 22) "…la base de datos externa debía nutrirse de los atributos contenidos en los objetos arquitectónicos (…), de forma que cualquier modificación en dichos datos la actualizara automáticamente. Por otro lado, la adición o manipulación de información de la base de datos debía poder reflejarse en el entorno gráfico".

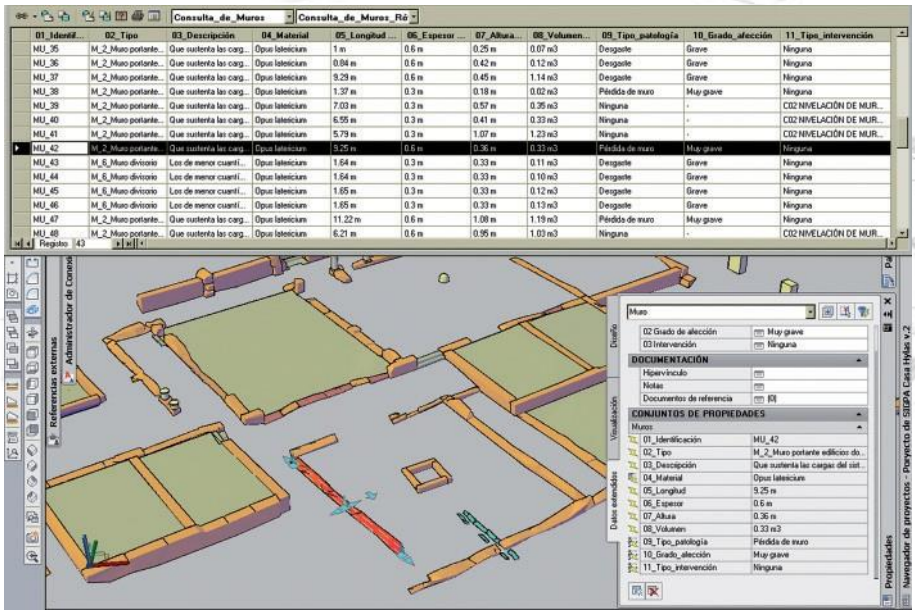


Fig. 92. . Vinculación del modelo a base de datos en entorno de AutoCAD Architecture.

El trabajo dio como resultado una interrelación de información entre el modelo y la plataforma de datos, consintiendo una búsqueda de registros en la base de datos a partir de la selección de entidades gráficas y viceversa.

[83] La ventaja de esta versión de AutoCAD es que, además de utilizar un interfaz muy conocido por la comunidad, emplea objetos paramétricos bajo un entorno asimilable al sistema BIM. Pero tiene el inconveniente de utilizar sistemas preestablecidos con formas geométricas estandarizadas, habituales en una construcción contemporánea, pero poco usuales en edificios históricos.

[84] AutoCAD Architecture utiliza los programas ODBC23 y OLE DB (Microsoft) para utilizar datos procedentes de otras aplicaciones externas (Microsoft Access, Excel y Visual FoxPro; dBASE, Oracle, Paradox y Servidor SQL), con independencia del formato almacenado o la plataforma de base de datos en la que se hayan creado.

Al realizar una comparativa con el sistema anterior, diremos que ambos parten de un patrón como única entidad gráfica (sea como resultado de un levantamiento por fotogrametría o por un escaneado láser). A partir de aquí, se ha realizado en cada uno un proceso de discriminación de sectores o elementos constructivos según las necesidades de cada especialista. Ahora, las tareas de clasificación y documentación parten de un modelo estructurado en identidades listas para clasificar. La ventaja que puede tener el segundo (software+base de datos externa),respecto al sistema CHIS, es que está orientado a trabajar con entidades arquitectónicas preestablecidas, pero esto sería ineficaz en el caso de excavaciones arqueológicas o en construcciones con una tipología fuera de los cánones establecidos.

Pero lo que si habría que preponderar es la vinculación, bajo un mismo entorno (es decir, un solo sistema), de una base gráfica con información alfanumérica exportable para ser gestionada por investigadores, profesionales y funcionarios que trabajen en el patrimonio arqueólogo y arquitectónico.

Como conclusión, la implementación de los denominados Sistemas de Información en el Patrimonio trae consigo una nueva forma de representación de la arquitectura patrimonial, sustentada en un flujo de trabajo con el fin de interoperacionalizar información.

4.4.12. Sistemas de información patrimonial (SIP)

La necesidad de gestionar la información espacial de nuestro hábitat es la razón fundamental para que muchas entidades públicas o privadas, a nivel autonómico o municipal, utilice el denominado Sistema de Información Patrimonial o SIP, tanto para su labor diaria de gestión eficaz de su patrimonio como para su difusión entre la ciudadanía. Este sistema permite organizar la información del patrimonio arqueológico y arquitectónico de la ciudad junto con la urbanística, identificándola en diferentes capas temáticas o materias para almacenarlas independientemente y permitir al investigador, profesional y ciudadano acceder ellas de manera rápida y sencilla.

Hay que hacer mención al Sistema de Información Patrimonial SIP de la ciudad de Santiago de Compostela[85]. El portal del SIP desarrolla el Programa de Información, Estudio e Interpretación de la Ciudad, creado y publicado utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG[86]), incorporando una gran cantidad de información sobre bienes y conjuntos patrimoniales de diferentes tipos y épocas históricas.

[85] Para la gestión de la información arqueológica en el SIP ha participado el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), y para la gestión de la información territorial y cartográfica se ha contado con la colaboración del Ayuntamiento de Santiago (aportando información del Plan Especial y de la cartografía digitalizada del Centro, año 2007).
[86] Emplea la tecnología ESRI, desarrolladora del software ArcGIS, una plataforma de información completa que permite crear, analizar, almacenar y difundir datos, modelos, mapas y globos en 3D, poniéndolos a disposición de todos los usuarios según las necesidades de la organización.

La aplicación también ha sido configurada para que sirva de apoyo técnico para la toma de decisiones, en cuanto a planimetría, catalogación y protección del bien examinado; y la gestión de proyectos de intervención sobre elementos del patrimonio histórico, facilitar labores de investigación sobre la historia de la ciudad y como un elemento básico para la difusión cultural.

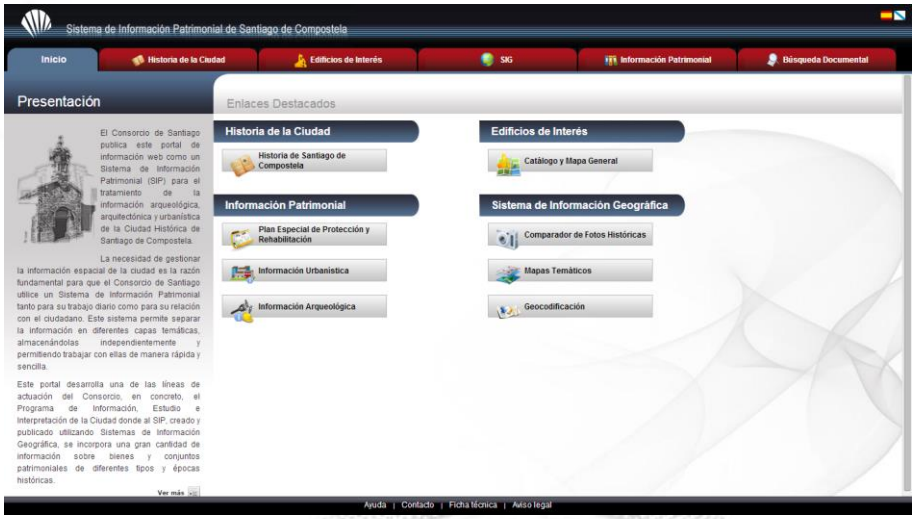


Fig. 93. Página principal del SIP de Santiago de Compostela. Está dividida en cuatro contenedores de información: Historia de la Ciudad, Enlaces de Interés, SIG, Información Patrimonial.

Del Sistema de Información habría que destacar el volumen de información textual, gráfica (como las fotografías de intervenciones arqueológicas) y cartográfica (planimetría completa por fases y períodos) que incorporara, la posibilidad de comparar cartografías y mapas históricos, la herramienta de generación de temáticos y la consulta combinada de datos urbanísticos, arquitectónica y patrimonial.

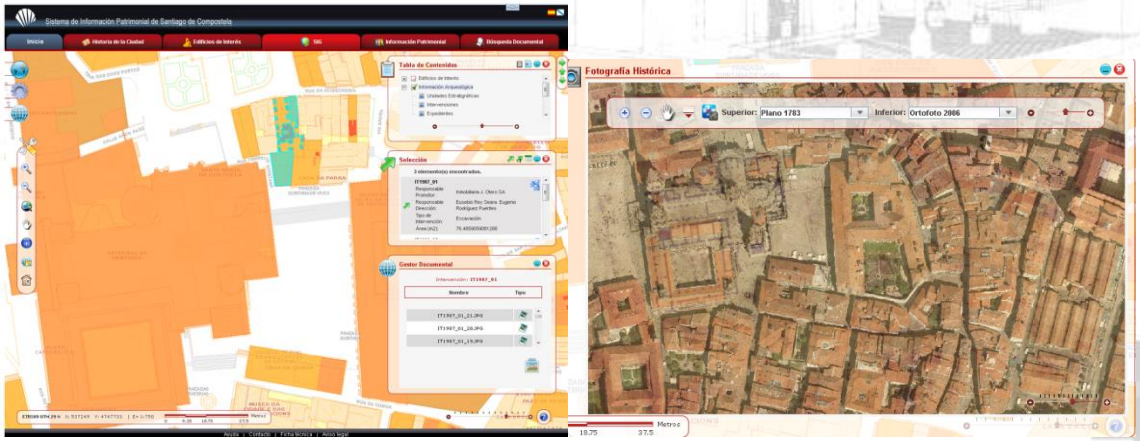


Fig. 94. a) Consulta de información arqueológica en el entorno de la Catedral. El interfaz del SIP muestra las ventanas de la Sección "SIG": Tabla de contenidos; Selección; Gestión Documental. b) Comparación por superposición de la planimetría geográfica (1783) con una Ortofoto aérea (2006).

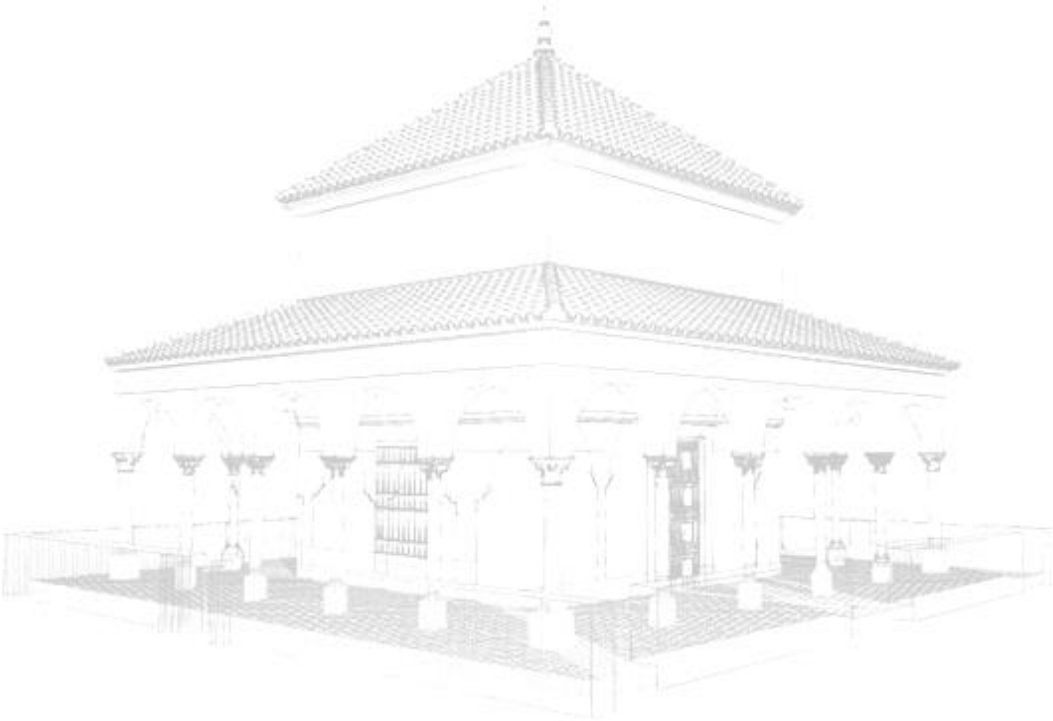
Por último resaltar la fiabilidad de una plataforma que está sustentada por entidades colaboradoras de alto prestigio técnico e investigador: Laboratorio de Arqueología del Paisaje del Instituto de Estudios Gallegos (del CSIC) y el Centro Nacional de Información Geográfica, integrado en el Instituto Geográfico Nacional del Ministerio de Fomento. Esta forma de trabajo facilita que cada objetivo técnico o conceptual del proyecto haya sido desarrollado por técnicos,

profesionales e investigadores especializados en cada uno de los trabajos desarrollados (arqueología, urbanismo, informática, gestión, historia del arte, cartografía, metadatos, sistemas, digitalización, archivo, documentación,...)" (SORIANO,2011)[87].

Pensamos que los modelos de información con los que experimentaremos en esta Tesis estarán preparados para ser incluidos en los Sistemas de Información Patrimonial de cualquier ciudad u organismo gestor de un conjunto histórico, constituyendo una base fiable y flexible para una eficaz difusión del patrimonio. El modelo BIM actuará como uno modelo digital integral de información que proporcionará tanto a la comunidad científica como al ciudadano una documentación geométrica y virtual del patrimonio, y que a su vez se les permitirá acceder a datos contrastados.

Para finalizar este apartado dedicado a los Sistemas de Información Geográfica indicar que cada vez es más estrecha la distancia entre los modelos arquitectónicos y el entono que los acoge. Una de las informaciones primordiales en cualquier proyecto realizado con aplicaciones BIM es su ubicación y orientación en el espacio terrestre, más cuando lo que se exige es proyectar o intervenir en un edifico cumpliendo unos requisitos mínimos de confort y eficiencia energética. Actualmente, las últimas versiones de los softwares BIM permiten al usuario realizar un viaje virtual a cualquier lugar de la esfera terrestre para explorar el entorno natural y urbano y estacionar el modelo de información en su posición geográfica exacta. En el capítulo de Análisis de Aplicaciones expondremos las novedades introducidas por la última versión de ArchiCAD 17 para la ubicación geográfica del proyecto BIM.

[87] SIGdeletras, TIG y Patrimonio.



4.5. De las Técnicas Gráficas de Levantamiento y Representación

Partamos de las Instrucciones para la ejecución de restauraciones arquitectónicas que nos dicta La Carta del Restauro de 1972:

> *El proyecto se basará en un completo levantamiento planimétrico y fotográfico, interpretado también bajo el aspecto metrológico, de los trazados reguladores y de los sistemas proporcionales y comprenderá un cuidadoso estudio para verificar las condiciones de estabilidad*[88].

Si hacemos un examen general de la historia de la construcción más reciente, veremos que son diversas las herramientas y los sistemas de reconocimiento empleados para medir la geometría que formalmente define sus elementos, sean constructivos, arquitectónicos u arqueológicos. Podíamos comenzar por las más tradicionales: cinta métrica o flexómetro, nivel óptico, ambos indispensables en los trabajos de levantamiento pues conviven actualmente con los instrumentos más tecnológicos. Se ha pasado por métodos topográficos como el de la trilateración, el teodolito, el taquímetro, las estaciones totales más sofisticadas, las técnicas de manipulación de la imagen (fotogrametría estereoscópica o convergente, o la simple rectificación fotográfica), hasta llegar a la última tecnología por láser escáner.

En el contexto en que se rodea la actual sociedad de la información y del conocimiento ha motivado un acelerado avance de las tecnologías gráficas, camino iniciado en la de Información Geográfica debido a la necesidad de una renovación en la planimetría por las carencias detectadas, logrando un impulso cuantitativo en la producción de excelentes trabajos, con la generación de bases de datos en constante actualización y la gestión multidisciplinar de la información espacial.

A esta situación en la última década se le adhiere un gran progreso en las técnicas gráficas de levantamiento y representación obteniéndose una documentación geométrica de alta precisión mucho más asequible que ha simplificado el protocolo para la obtención de la información, como es la medición de la geometría y las características físicas de un objeto: hablamos de la fotogrametría y de los últimos sistemas de escaneado en 3D[89].

Pero si pensamos en esos instrumentos ancestros que se siguen empleando a pesar de los grandes avances en las técnicas de medición, diremos que su eficacia obedece más a su versatilidad que a sus teóricas prestaciones: "es precisamente su sencillez la que la hace versátil, su bajo coste el que la hace accesible, y de ahí deriva su eficacia" (García-Gómez, 2011:26).

[88] Redactada por Cesare Brandi con la colaboración de Guglielmo De Angelis D´Ossat.
[89] En 2007 se inicia en el Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico el proyecto "Metodología de Documentación gráfica tridimensional del Patrimonio Cultural y de su contexto territorial", que persigue el desarrollo de una metodología innovadora para la generación de modelos geométricos y visuales tridimensionales de las entidades patrimoniales y su entorno territorial aplicados a diversos escenarios profesionales.

4.5.1. El concepto de levantamiento arquitectónico

Tenemos importantes textos de referencia en España donde se trata en profundidad el concepto del *Levantamiento* gráfico en el ámbito arquitectónico; citase *Levantamiento y análisis de edificios. Tradición y Futuro* de los profesores Alfonso Jiménez Martín y Francisco Pinto Puerto (2003) y *Levantamiento arquitectónico* de Antonio Almagro Gorbea (2004). Ambos están basados en el concepto de levantamiento manifestado en la Carta del Rilievo, surgida del congreso celebrado en Nápoles en abril de 1999: *Il rilievo dei beni architecttonici per la conservazione*[90].

Las conclusiones a las que llegan ambos libros son muy coincidentes en lo referente a lo limitado del concepto de levantamiento, entendido hasta entonces como una "construcción gráfica de un edificio existente". Era necesaria una amplificación del término mucho más ambiciosa para el "conocimiento integral del objeto arquitectónico, no sólo en su materialidad física, sino en todo lo que le concierne como pueda ser su historia y su significado". Se está refiriendo claramente al patrimonio arquitectónico.

Fig. 95. Portada de los libros *Levantamiento y análisis de edificios. Tradición y Futuro,* de Jiménez y Puerto (2003) y Levantamiento arquitectónico, de Almagro (2004).

Ambas reflexiones comportan la transformación del levantamiento, que hasta entonces era entendido como un trabajo específico, en una actividad de investigación, como sistema abierto de conocimientos que "se vale de todas las ciencias y todas las técnicas que puedan contribuir a la lectura, a la medida y al análisis de la arquitectura en sus aspectos morfológicos, materiales, y estructurales, patentes u ocultos" (BARRERA, 2006: 48).

Si nos atenemos al texto de JIMÉNEZ y PINTO (2003:48), el levantamiento arquitectónico debería identificarse como "el conjunto de operaciones, de medidas y de análisis necesarios para comprender y documentar el bien

[90] Dicho documento surgió como iniciativa del profesor Cesare Cundari, de la universidad de La Sapienza de Roma, en 1989, que aglutinó a importantes expertos en la materia, procedente de Italia, Francia y España. (BARRERA, 2006:47)

arquitectónico en su configuración completa, referida incluso al contexto urbano y territorial, en sus características dimensionales y métricas, en su complejidad histórica, en sus características estructurales y constructivas, así como en las formales y funcionales".

➢ Carta del Rilievo

De la declaración sobre el levantamiento arquitectónico que realiza la Carta del Rilievo, podemos entresacar varios aspectos, en cuanto al proceso y metodología para el uso de las nuevas técnicas de representación, que son muy relevantes para tenerlos en cuenta en nuestro estado de la cuestión.

Recomienda que las técnicas empleadas para el levantamiento, además de la documentación obtenida y los medios usados (fotográfica, de archivo, etc.) hay que incluir "todas las operaciones que conducen al logro de este resultado. De hecho, como cualquier otro proceso de investigación, este deberá poder ser recorrido de nuevo con el fin de verificar su autenticidad y la calidad del producto".

Cuando se refiere a los nuevos métodos de levantamiento (incluye los topográficos, fotogramétricos, por ser las últimas tecnologías empleadas en medición, aunque ahora podían ampliarse a los sistemas de escáner láser), dicta que "se deben conocer y tener en cuenta" las singularidades de cada metodología "en relación con el proyecto que se va a levantar".

La Carta hace una precisión sobre "la utilización integrada de distintos métodos, para documentar de un modo adecuado las cualidades del objeto" un método de trabajo que en la mayoría de las ocasiones resulta indispensable para la calidad final del levantamiento. Además, al referirse a los métodos informáticos en el sector del levantamiento, considera la complementación y transferencia de datos de los diferentes sistemas fundamental para que "los datos, oportunamente estructurados y verificados, converjan en la realización de sistemas de información enfocados a la gestión del patrimonio histórico". Este asunto será bien experimentado en nuestro modelo de trabajo, como veremos en los próximos capítulos.

El control de la calidad del levantamiento queda también expresado como "una operación indispensable que debe efectuarse una vez conocido el proceso adoptado", con unas tolerancias y márgenes de error razonables en base a la metodología empleada y por las características del edificio, y que deben quedar bien reflejadas antes de asumir el trabajo.

Por último, la Carta introduce unas líneas relevantes que han derivado en posteriores debates y en la formación de nuevas disciplinas específicas. Las técnicas de levantamiento "deben aprovechar las nuevas posibilidades de elaboración que permite la informática, tanto en el campo de la modelación sólida como de la comunicación multimedia". Serán el germen de la *The London Charter for the Computer-based Visualisation of Cultural Heritage Cartamuyo*

Carta de Londres para la visualización computarizada del patrimonio (2009) y sus predecesoras, que derivaron en 2012 en los Principios de Sevilla o *International Principles Virtual Archaeology*[91].

4.5.2. El levantamiento en el patrimonio edificado

Las técnicas gráficas de levantamiento aplicadas a edificios históricos cobran gran importancia cuando preexisten elementos con altos valores arquitectónico y arqueológico. La morfología actual y real que nos ha llegado a nuestros días no puede ser interpreta aleatoriamente, pues son testigos que se han preservada a lo lago de la historia. El profesor José Antonio Barrera, en su tesis doctoral *Aplicación de tecnologías innovadoras en la documentación geométrica del Patrimonio Arquitectónico y Arqueológico* (2006), llega a definir la documentación geométrica como la obtención y representación de la geometría real y actual del objeto, entendiendo "geometría" desde la óptica del campo de la expresión gráfica arquitectónica más actual: definición de las relaciones métricas, formales, topológicas y detalles constructivos.

Es por ello que las nuevas técnicas no pueden olvidarse de la fotografía, como la copia más fiel del estado presente del objeto a representar, al compaginarse con los demás documentos gráficos y que nos permiten comprobar e interactuar con las dimensiones espaciales a la vez que incorporan la imagen envolvente del material superficial, considerándose un complemento de la propia geometría, ya que proporciona información métrica que puede ser empleada en futuros análisis y como verificación del modelo generado en un levantamiento gráfico (BARRERA, 2006:20).

En el campo de la arquitectura e ingeniería, sobre todo cuando se actúa en obra de nueva creación, se asocia el término de levantamiento a la etapa de elaboración de la documentación gráfica que incorpore las dimensiones geométricas de la edificación. Pero cuando se actúa sobre un edificio persistente en la historia la definición básica se amplifica a otros campos para lograr así un completo conocimiento del edificio desde la perspectiva de las diferentes disciplinas participativas en el patrimonio intervenido.

Tradicionalmente un levantamiento gráfico ha constado de las siguientes fases:

- De trabajos de campo para la toma "in situ" de las dimensiones geométricos y de la obtención de otros datos bases para la confección del modelo dimensional análogo al inspeccionado.

- El empleo de equipos de captura de datos y medición empleando técnicas tradicionales de acercamiento con contacto, como la cinta métrica y la plomada entre otros, y los más recientes que no necesitan un contacto físico: estaciones totales, escáner láser 3D, fotogrametría, teodolitos, etc.

[91] Ver el apartado 4.3.5.1. Principios básicos deontológicos de la Carta de Sevilla, página 65.

- Después seguirán los trabajos de gabinete para el procesado y gestión de toda la información obtenida y estructurar la confección del modelo geométrico del elemento arquitectónico en estudio.

- Finalmente nos quedará la exposición final de los documentos que han definido gráficamente el modelo. Aquí hay cabida para la presentación del mismo en proyecciones ortogonales acotadas, las axonometrías diversas como las perspectivas aclaratorias. Pero sin menospreciar las presentaciones multimedia que permiten explorar e interactuar virtualmente con el modelo (BARRERA, 2006: 22).

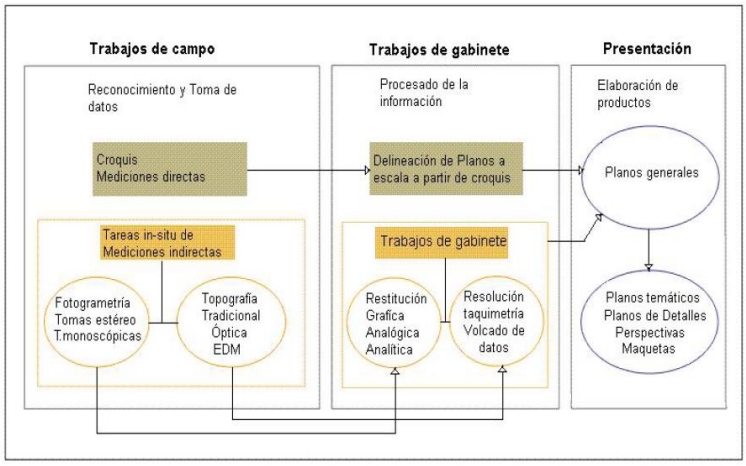


Fig. 96. Esquema del proceso de levantamiento tradicional. Fuente: Tesis Doctoral de J.A. Barrera (2006:22).

Como metodología a seguir en cualquier trabajo de levantamiento es perfectamente válida para aplicarla tanto a obras de nueva construcción como existente. Pero hay otros factores exógenos que podrían afectar a la efectividad de los resultados sobre el modelo en estudio.

No tenemos tal lejano que un único técnico asumiera las funciones de dirección y responsabilidad en un trabajo multidisciplinar que requiere de labores de investigación avalada por cada disciplina[92]. Por la proliferación de especialistas en cualquier intervención en el patrimonio arquitectónico, al participar distintas áreas de conocimientos, se hace necesario de un flujo de información cada vez más preciso y depurado. Y la documentación gráfica debe de ser un componente básico en el viaje del fluido.

Aunque el paradigma mostrado puede sufrir interferencias por los cambios en los hábitos de trabajo, éste cada vez más especializado. La etapa de análisis siempre ha estado ligada con el levantamiento gráfico del edificio, pero a medida que se origina una mayor especialización, notoriamente se va desvaneciendo esa implicación. Es más frecuente una independencia entre el levantamiento técnico o científico y el análisis, separación propiciada por el avance de las nuevas tecnologías (BARRERA, 2006).

[92] Tabales, 2002.

Pero esta dilatación entre el levantamiento técnico y el analítico del patrimonio arquitectónico no es propicia para la generación de documentos gráficos con un aval técnico-científico. Es habitual encontrar edificios que tienen a sus espadas drásticas transformaciones espaciales con empleo de sistemas constructivos propios de cada época por su dilatada trayectoria histórica. En estos casos se precisa de conocimientos en construcción, caracterización de los materiales, tradición y evolución de los sistemas constructivos, técnicas de restauración y formación en historia y bellas artes. La falta de una preparación básica en las principales áreas de conocimiento provocaría una actitud de atenuación sobre la importancia de ciertos detalles a documentar y podrían no establecerse las prioridades adecuadas en el grado de detalle de cada elemento a representar (ALMAGRO, 2002).

4.5.3. La falta de objetividad en el levantamiento gráfico

Dejando a un lado las técnicas gráficas que se han ido superponiendo a los largo de la historia de la arquitectura y demás bellas artes, ha existido siempre una vertiente sentimental para establecer una realidad de lo existente que mana desde el interior del autor[93]. Es conocido por los investigadores que la expresión gráfica siempre ha tenido un lado de subjetividad. El autor nos ha transmitido la imagen que el mismo ve y que interpreta según sus inquietudes, utilizando interpretaciones que están arraigadas de épocas pasadas, pero en el caso de la arquitectura nos han dificultado el análisis del patrimonio construido.

Necesitamos de una documentación lo más real posible, no contaminada por causas exógenas más propias de una solo disciplina, para que se convierta en una información válida y flexible que pueda fluir entre los agentes intervinientes en el patrimonio arquitectónico. Hoy nos movemos en un trabajo multidisciplinar que necesita de un modelo gráfico que promueva la interoperabilidad de la información gráfica como base de los diferentes análisis dentro de cada área de conocimiento. De ahí que los documentos vectorizados en proyecciones ortogonales que se nos presentan en cualquier intervención, muchos provenientes de vectorización de imágenes digitales tomadas del modelo real en estudio, no aportan novedades importantes, a no ser que destaquemos el trabajo de precisión en el trazo de las envolventes de ciertas figuras o la definición de las llagas en las fábricas analizadas.

En los modelos de información que serán presentados en el capítulo de experimentación de esta tesis, se ha partido inicialmente de una documentación vectorial exhibida en proyecciones ortogonales, que en el caso del Cenador de Carlos V han derivado de un levantamiento fotogramétrico previo (aunque hay

[93] Villanueva reflexiona sobre la divergencia entre realidad, percepción visual, perspectiva y fotografía (1996:17,18), llegando a afirmar que la imagen no es tal imagen interna sino una interpretación de cadenas de impulsos eléctricos procedentes del ojo.

que puntualizar que en una fase posterior de la tesis se ha llegado a contrastar con los datos obtenidos de un escáner láser 3D).

Estamos todavía envueltos en una dinámica cautelosa por conservar técnicas de representación gráficas tradicionales cuando el objetivo siempre ha sido tomar medidas sobre la propia realidad visual. No podemos empecinarnos en establecer una representación del modelo tradicional y omitir las ortofotos, más cuando sabemos que son imprescindibles las texturas proyectadas sobre los objetos para un buen análisis de la realidad. Actualmente el debate está centrado en formular los criterios a la hora de decidir el grado de precisión que han de alcanzar dichas ortofotos, o más bien el modelado de las superficies del objeto a representar (Barrera, 2006: 25).

Apartemos las proyecciones ortogonales aplicando técnicas de vectorización[94] poco eficientes, y empleemos el tiempo en el mapeado de las superficies a tratar al incorporarle fotografías ortogonales, que nos permitirán tomar datos dimensionales y apreciar el estado de los revestimientos, la evolución de las fábricas y las patologías localizadas.

Clasificación de los levantamientos en función de la tecnología empleada[95]

Métodos convencionales

- Medios manuales:
  - Cinta
  - Plomada
  - Nivel de agua
- Instrumentos ópticos analógicos:
  - Escuadra de agrimensor
  - Niveles ópticos
  - Teodolitos
- Instrumentos electrónicos:
  - Distanciómetros electrónicos de mano
  - Niveles láser
- Rectificación de fotografías de superficies planas

Métodos especializados

- Estación total (EDM) con prisma
- Estación total (REDM) sin prisma
- GPS
- Técnicas fotogramétricas:
  - Fotogrametría analógica
  - Fotogrametría analítica
  - Estaciones Fotogramétricas digitales
- Escaneado láser 3D:
  - Láser escáner basado en triangulación
  - Láser escáner basado en tiempo de vuelo
  - Láser escáner basado en desfase de onda

[94] El término de vectorización se refiere a la que efectúa el software para convertir la información ráster de una imagen (mapa de bits) en una imagen vectorial, formada por objetos geométricos tipo: lineas, curvas y superficies poligonales. Cada uno de ellos quedan definidos por distintos atributos matemáticos de forma, de posición, de color, etc. (Un círculo de color rojo quedaría definido por la posición de su centro, su radio, el grosor de línea y su color).
[95] Barrera, 2006.

4.5.4. La fotogrametría

Intervenir en el patrimonio construido se hace cada vez más complejo, pues el modelo en estudio estará sometido a procesos de análisis desde varios estadios disciplinares. Hoy en día los recursos gráficos y las técnicas de representación han experimentado un cambio substancial en esta nueva era de la información, y sería contradictorio y muy contraproducente no emplearlas en el campo del patrimonio arquitectónico y/o arqueológico. La fotogrametría es una de ellas, permitiéndonos profundizar en el conocimiento y análisis del edificio. Esta técnica nos ayudará a establecer las propiedades geométricas de los elementos y sus posiciones respecto al espacio capturado a partir de imágenes fotográficas[96].

Aunque queda mencionar una ventaja importante de la fotogrametría, que no debe pasar desapercibida, como es que permite maniobrar sin utilizar apenas medios complementarios (andamios, grúas, plataformas voladas,…), reduciendo considerablemente el tiempo de la toma de datos en el tajo y con un gran equilibrio entre la precisión y la cantidad de la información obtenida para su traslado a una representación efectiva del edificio.

4.5.4.1. La evolución de la fotogrametría

La transformación de la fotogrametría a lo largo de su trayectoria, dentro del campo del patrimonio arquitectónico, ha sido una constante. Esta surge como una ciencia capaz de obtener medidas a partir de fotografías. Su origen conceptual se encuentra en los procedimientos geométricos que permiten restituir una percepción óptica, y por tanto puede entenderse como el resultado de la aplicación de métodos perspectivos. Estos métodos perspectivos aplicados sobre la fotografía (asimilada ésta a una proyección cónica), constituye la base de la obtención de los valores métricos de los objetos representados en los fotogramas (GENTIL, 1990).

En la primera etapa tubo una clara concepción métrica, cuando los técnicos la empleaban como herramientas topográficas para la obtención de dimensiones exactas de la arquitectura. El ingeniero y militar francés Lausedat empieza empleando la cámara para tomar medidas sobre una fotografía y representar la geometría arquitectónica (Iglesia de Santa María delle Grazie). Pero a partir de 1850 lo amplia al uso de varias tomas fotográficas para lograr una restitución mucho más efectiva. Llegará a emplear este método, entre otros destacados trabajos, en la restauración de Notre Dame (encargada a Viollet-le-Duc) para calcular las proporciones de la torre. Su método es conocimo como *Métrophotographie*.

[96] La palabra fotogrametría deriva del vocablo "fotograma" (de "phos", "photós", luz, y "gramma", trazado, dibujo), como algo listo, disponible (una foto), y del término "metrón" (de medir). Por lo que resulta que el concepto de fotogrametría es "medir sobre fotos".

Pero va a ser un arquitecto alemán, Albrecht Meydenbauer, el verdadero creador de la fotogrametría arquitectónica. Introdujo el término *Photogrammetry* por primera vez en un artículo para una revista de arquitectura, publicada en 1867. Actualmente es considerado padre de la conservación del patrimonio cultural construido.

Un hecho transcendental fue 1879 con la aparición de la tercera generación de las cámaras fotogramétricas de Meydenbauer, con las que se ampliaba el formato de la imagen a 40 x 40 cm (los grandes formatos eran deseables debido a la precisión que se lograba a través de la restitución gráfica)[97]. Pero la novedad más interesante fue la introducción de un desplazamiento vertical de la lente. Esto permitió lograr una mejor adaptación al objeto, una técnica que se usó en muchos *phototheodolites* (fototeodolitos) en las siguientes décadas. (Fig. 97.b)

Los métodos aplicados por Meydenbauers para la restitución eran verdaderas construcciones gráficas siguiendo las reglas de la geometría descriptiva (Fig. 97.a)

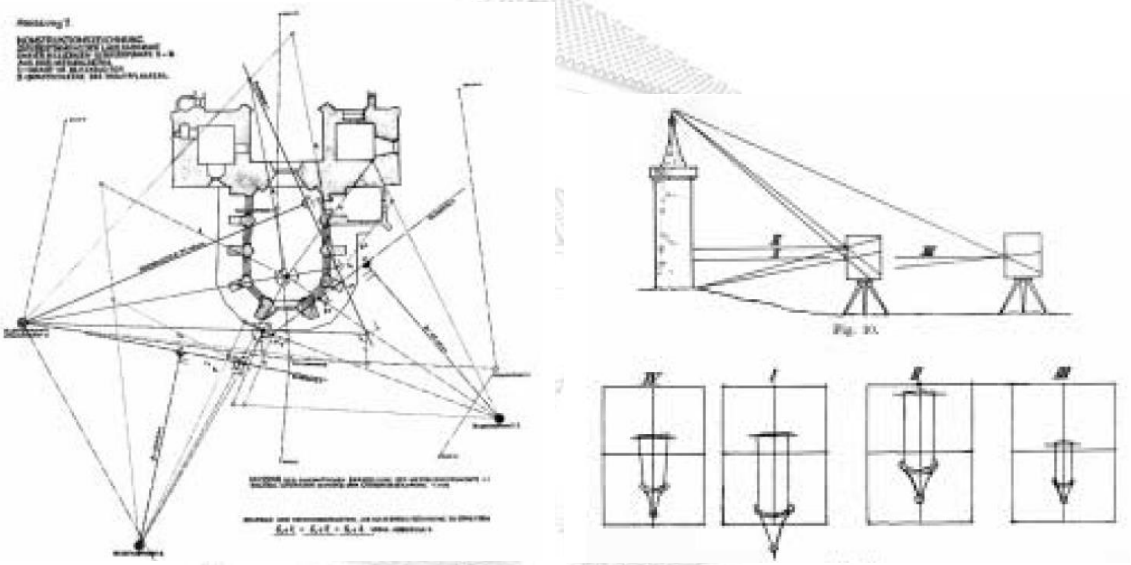


Fig. 97. a) Con el Sistema de Fotogrametría "Plano-vector"(intersección gráfica de dos vectores para definir la posición de un punto), cualquier punto del objeto que se ha identificado en dos (o más) imágenes convergentes podría ser trazado en el plano del suelo; b) Efecto de un desplazamiento vertical de la lente de la cámara; la posición II hace el mejor uso del formato de imagen (tomados de los libros de texto de Meydenbauer de 1912).

El avance se logró posteriormente utilizando una técnica de intersecciones con la obtención de una analogía de puntos posicionados en el espacio con los que adquirir la geometría del elemento representado. Pero no va a ser hasta la aparición de los restituidores cuando se produzca el gran desarrollo de la fotogrametría al lograrse medidas más precisas. Estos aparatos permitirían representar a escala métrica los pares fotográficos de las tomas y adquirir todo tipo de medidas.

[97] Hasta entonces el todavía usaba las lentes Pantoskop con distancias focales de 25 cm, 35 cm y 53 cm.

4.5.4.2. La fotogrametría como base documental

Pero hay otro valor muy importante en la fotogrametría, como es disponer de una base documental del estado real del edificio, en su concepción de una percepción óptica humana. Esto nos ha permitido recuperar muchos edificios demolidos en la gran guerra del S.XX como reconstruir patrimonios dañados por terremotos, ya que la fotogrametría se nos presenta hoy en día como una técnica documental con alta fidelidad en la adquisición de la geometría del elemento[98].

Fig. 98. La Catedral francesa en Berlín. Imagen de prueba de Albrecht Meydenbauer a partir del año 1882 (40 x 40 cm). 100 años después, fue utilizada para la reconstrucción de la iglesia tras la Segunda Guerra Mundial.

4.5.4.3. La restitución fotogramétrica

Al trabajar con una fotografía y procesarla podemos obtener información real de las dimensiones tomadas del objeto, es decir, información bidimensional. Esta técnica sencilla de transformación proyectiva es conocida como *rectificación fotogramétrica*. Este proceso consiste en la corrección de la distorsión de la fotografía provocada por la perspectiva cónica fotográfica. Esta rectificación permite pasar de un plano existente en la realidad a un plano proyectado por el proceso fotográfico y viceversa, relacionando las coordenadas existentes con sus coordenadas fotográficas correspondientes (PÉREZ et al., 2011:122).

Si se procesa varias fotografías tomadas de forma secuencial donde la información de una imagen se aprecia desde otras tomas adyacentes, produciéndose el efecto de solapamiento, se obtendrá la una visión estereoscópica o también llamada información tridimensional (Fig. 99).

[98] Albretch Meydenbauer crea el primer servicio fotogramétrico en 1885, llegando a recopilar 22350 placas fotográficas. Éstas servirían para la reconstrucción de muchos edificios arruinados por los bombardeos de segunda guerra mundial poseía (GENTIL, J.M., 1990).

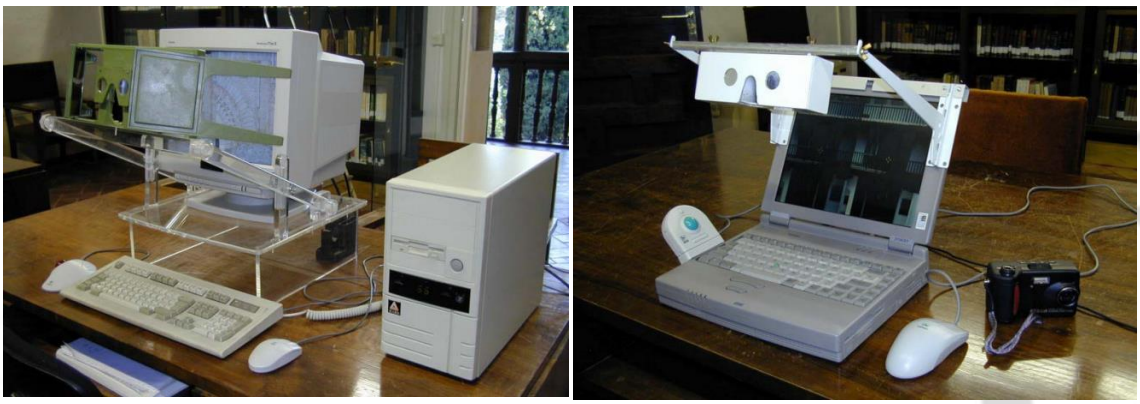


Fig. 99. Sistema de fotogrametría estereoscópica digital en ordenador de sobremesa y en portátil (Restituidor VSD). Fuente: Antonio Almagro(2003). De la fotogrametría a la infografía.

Los grandes avances en la informática han permitido que las técnicas de restitución fotográfica (o monoscópica) en multitud de softwares, algunos disponibles como aplicaciones para los móviles de "última generación" y al alcance de cualquier usuario ajeno a la profesión, hayan superado con creces la esencia de la fotogrametría, una ciencia que nació para conseguir medidas a partir de una o varias tomas fotográficas. El hardware actual, y nos referimos a la segunda década del siglo XXI, permite soportar procesamientos de un gran número de puntos y registros, la gestión y la conversión de los datos gráficos en superficies tridimensionales que incorporan las texturas propias del objeto que fueron tomadas en una sesión fotográfica. Pero no sólo podremos incorporar esos objetos 3D mapeados en nuestro modelo virtual, sino el software nos permitirá realizar exploraciones virtuales en "tiempo real" impensables en la década pasada.

Por ello, no nos tenemos que conformar con unas representaciones ortogonales del modelo estudiado, emanadas del sistema diédrico, siguiendo los cánones tradicionales de expresión gráfica. La utilización de vectores delimitadores, para definir contornos y cambios de coordenadas de las superficies representadas, queda superado. Actualmente debemos apostar por incorporar la fotografía actual en nuestros modelos proyectuales, permitiéndonos una verdadera y completa exploración que vendría a cubrir aspectos fundamentales en el patrimonio edificado, con una labor eficaz, científica e interdisciplinar.

4.5.4.4. La fotogrametría en el patrimonio histórico

Antes de iniciar una intervención en el patrimonio edificado, hay que disponer de la geométrica real del edificio, pero más aún hay que diferenciar los elementos, sus disposiciones en fábricas y los materiales empleados para comprender sus características intrínsecas. En una fase previa de auscultación no se puede obviar la localización de cualquier deficiencia, patologías o deterioros en revestimientos y de humedades generalizadas por filtraciones en los paramentos, como la evolución de los sistemas constructivos en los lienzos examinados, antes de iniciar un análisis científico eficiente del edificio. La fotogrametría se nos presenta especialmente ventajosa en la representación de las transformaciones sufridas por el patrimonio arquitectónico en el acontecer de su historia, identificando

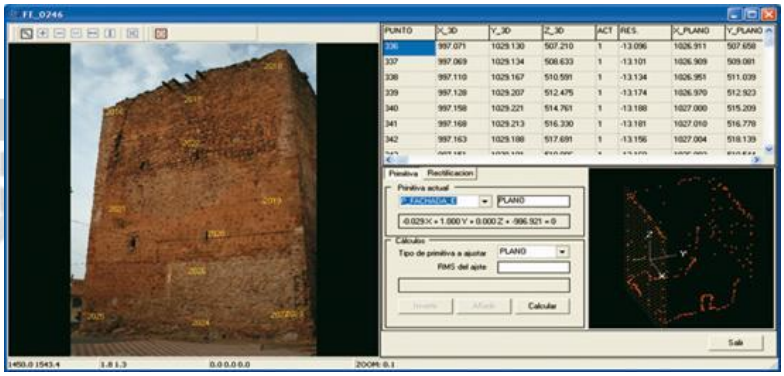
alteraciones y deformaciones dimensionales, sin menospreciar los aspectos relacionados con la geometría y la forma de todos los elementos integrantes (FERNÁNDEZ y SAN JOSÉ, 2001:91).

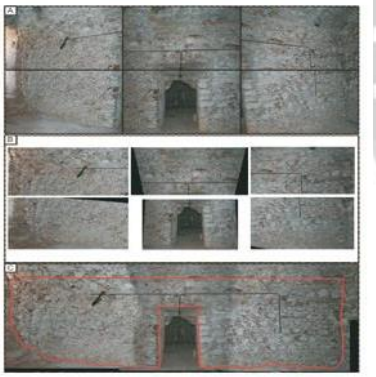
Esta base fotogramétrica del edificio histórico favorecerá una transmisión más fluida de la información entre los miembros del equipo multidisciplinar, permitiendo realizar consultas de los diferentes empaques del edificio del tipo:

- Estudio de la evolución del edificio en el tiempo.
- Exploración de todas las patologías detectadas (agrietamientos, deformaciones, humedades, …)
- Obtención de medidas del estado actual.
- Elaboración de las planimetrías reales.
- Conocimiento de los materiales que integran los hechos constructivos analizados
- Identificación de tipologías de fábricas, con descripción de las piezas y la organización dentro de su estructura.

Las aplicaciones actuales con técnicas de fotogrametría son cada vez más precisas, de fácil disponibilidad y pensadas más para un usuario poco experto en la materia, proporcionándonos imágenes fotográficas ortogonales en ficheros digitalizados que podrán ser insertadas como mapas en nuestro modelo de información. Esta rectificación digital de la fotografía tomada in situ nos permitirá disponer de un levantamiento fotogramétrico real que se le aplicará al modelo tridimensional para ser explorado y analizado por cada especialista.

Pero por la geometría que presentan los edificios, que habitualmente es compleja en el patrimonio, nos obliga a que tengamos un levantamiento métrico previo auxiliado de una planificada red topográfica. La modelización del patrimonio arquitectónico se ha de planificar mediante la topografía y la fotogrametría, y obtener "puntos suficientes para definir la estructura básica de lienzos, paredes, bóvedas, etc., medir los puntos de control necesarios para orientar y proyectar las fotografías y definir un sistema de referencia común y estable para todo el proyecto" (PÉREZ et al., 2011:122).





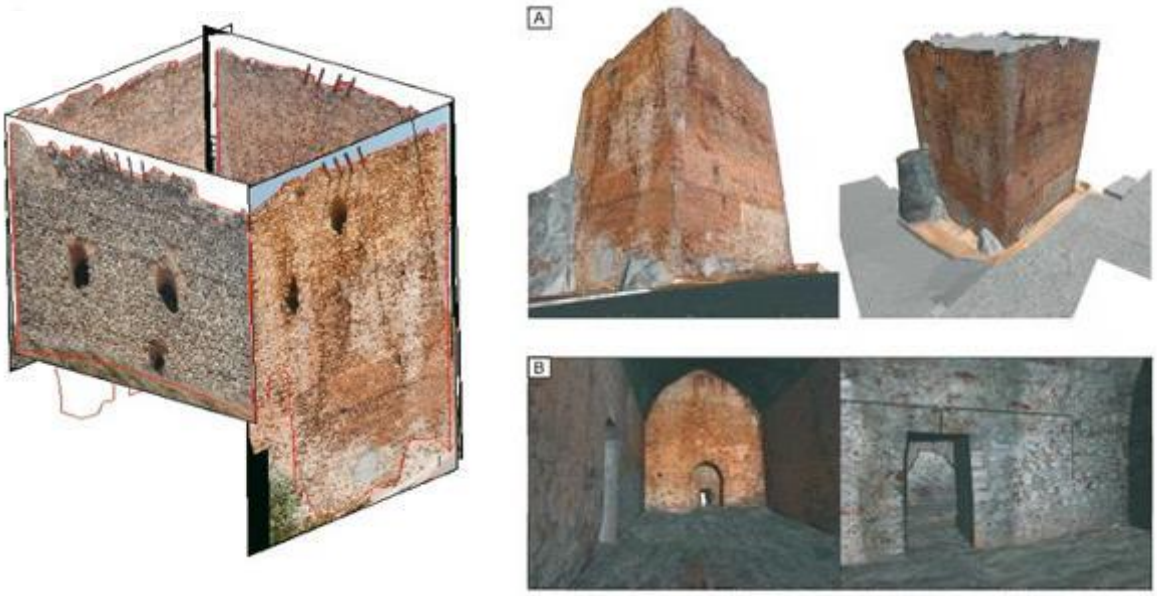


Fig. 100. Levantamiento fotogramétrico de la torre del homenaje de Torre de Albánchez en Jaén: a) Corrección de la distorsión provocada por la perspectiva cónica fotográfica. La rectificación permite pasar del plano existente en la realidad al correspondiente plano proyectado. Se empleó el programa Fotoarq3d. b) Mosaicos de varias fotografías para formar estructuras completas (ortofotos); c) Montaje tridimensional sobre la estructura de puntos obtenidos con la radiación topográfica; d) Aplicación de texturas y posterior modelización. Fuente: Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría de la Universidad de Jaén (2008).

Sólo de esta forma podremos extraer de manera eficaz las peculiaridades más destacadas del edificio analizado al sustentarse en un procedimiento preciso. Es por ello por lo que la fotogrametría se ha convertido en una técnica avalada científicamente, proporcionándonos muchas ventajas (FERNÁNDEZ y SAN JOSÉ, 2001):

- La vectorización de las imágenes para delimitar sectores antes de su clasificación, sea por su etapa evolutiva, por su tipología constructiva o por el grado de conservación de la fábrica o elemento arquitectónico estudiado.

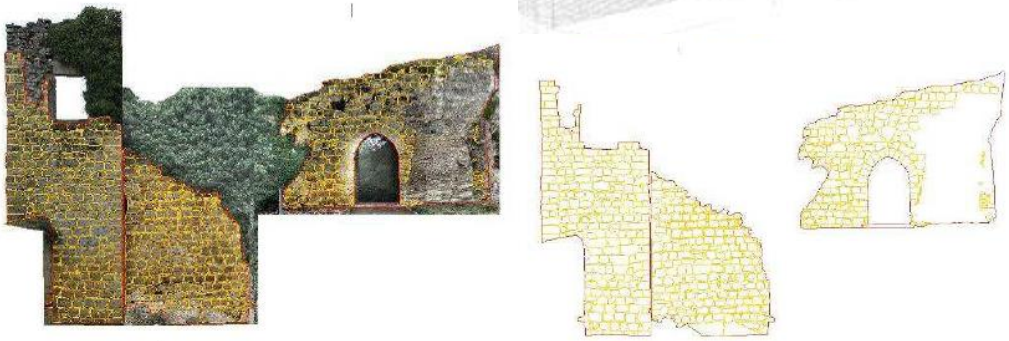


Fig. 101. Fortaleza de la Mota: Digitalización sobre mosaico de imágenes rectificadas. Ortofotomapa y Vectorial. Fuente: (PÉREZ et al., 2011). Revista VAR Vol-2, 3.

- La elaboración de una biblioteca de texturas que identifique el estado actual de los revestimientos del edificio, expresando las propiedades cualitativas (composición de fábricas o mamposterías no cuantificables geométricamente, cromatismos en azulejería, veteados de mármoles, desprendimientos en revestimientos, humedades, etc.).

- La generación de un registro de orto-imágenes que documenten el estado de los paramentos del edificio en un determinado período y por tanto, posibilite el conocimiento de las transformaciones acaecidas en el tiempo.

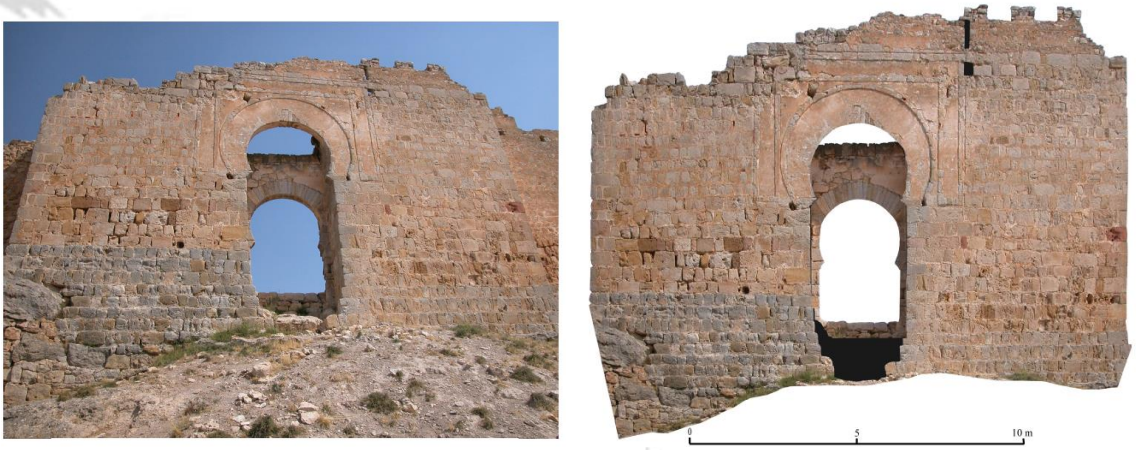


Fig. 102. a) Fotografía de la puerta del castillo de Gormaz (Soria) previa a su rectificación; b) La misma fotografía ya rectificada y puesta en escala. Fuente: Antonio Almagro (2004:7), Congreso EGA.

4.5.4.5. La fotogrametría en los modelos de información

Ha pasado más de una década desde que los profesores Juan José Fernández y Jesús San José reflexionaban sobre la fotogrametría, considerándola "como un recurso para la generación del *modelo tridimensional digital*, formación de imágenes métricas digitalizadas; y soporte y gestión de base de datos" (FERNÁNDEZ y SAN JOSÉ 2001:89).

Actualmente la fotogrametría nos permite un mejor conocimiento del patrimonio arquitectónico, un acopio de datos de sus realidades físicas y espaciales. Pero la fotogrametría se ve actualmente algo comprometida en resaltar sus mejores cualidades ante su rival más directo, el levantamiento por escáner laser. Ante la precisión de esta última tecnología, todavía poco asequible a nivel científico por su alto coste, la fotogrametría si tiene un ámbito propio, que por su bajo precio y por los resultados satisfactorios logrados la hacen necesaria y útil para la obtención de una documentación gráfica precisa y de un gran valor para el análisis arquitectónico (PÉREZ et al., 2011:121).

Como todo nuevo sistema "tecnológico", debe de tener un tiempo prudencial para su adecuación en los sectores de actuación; en esta fase se suele producir una depuración del sistema, con la mejora de prestaciones e inclusión de nuevas por el resurgir de algunas necesidades, necesarios antes de iniciarse el proceso de implementación. En este aspecto, la fotografía ha pasado por esta etapa de renovación y consumación después de muchos años de experiencia, motivo por lo que es al día de hoy una técnica muy avalada por los agentes del Patrimonio.

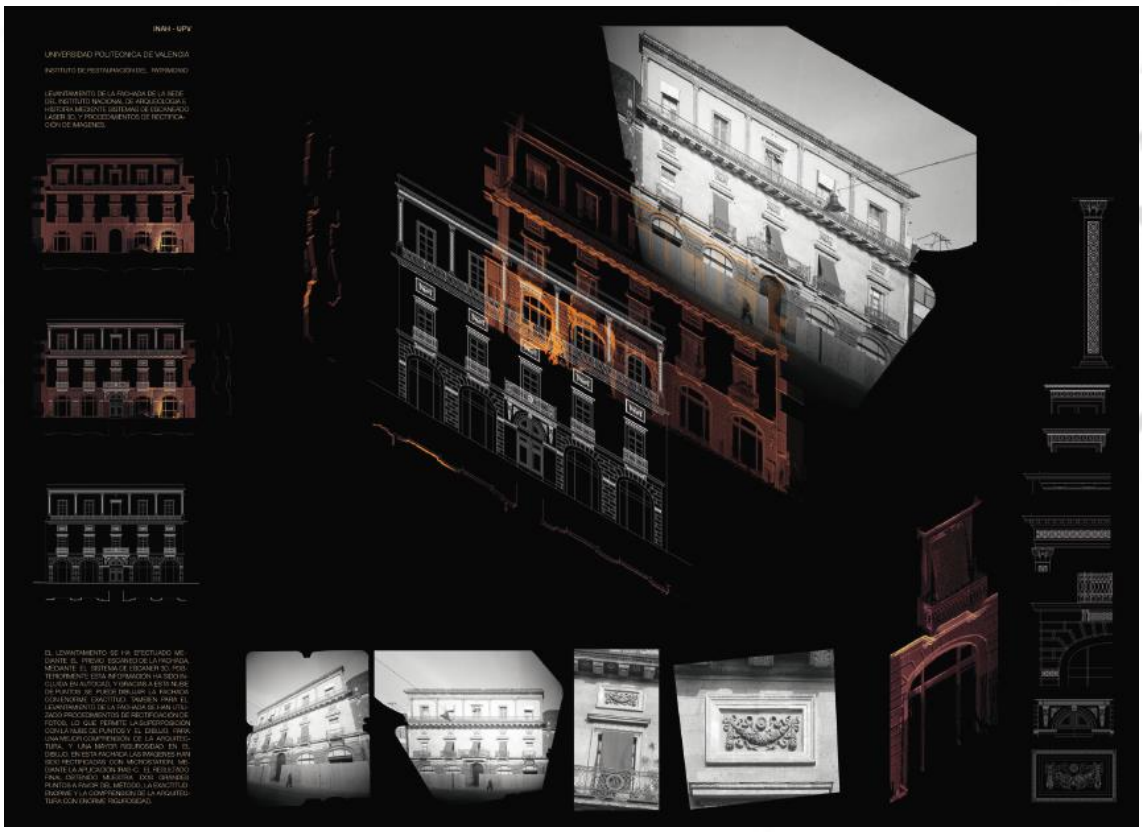


Fig. 103. Proceso de levantamiento gráfico con la nube de puntos y el apoyo de fotogramas rectificados. Fachada del edificio de la Coordinación de Monumentos Históricos (INAH). México. Fuente: EGA 17, p.47, 2011.

Contamos en la actualidad con sistemas de captura métrica y de desarrollo infográfico que combinan la fotogrametría y la documentación gráfica más técnica. La fotogrametría ha evolucionado en paralelo con la informática reduciendo considerablemente los trabajos "in situ", que permiten la inclusión continuada de nuevos datos fotográficos y métricos, y que dará lugar a sistemas de información en constante actualización. Pero lo más destacable en estos avances son los crecientes trabajos de implementación de la técnica fotogramétrica en el patrimonio histórico, auxiliándose de los nuevos sistemas de levantamiento y medición por escaneado, dando como resultado la gestión de datos dimensionales y físicos de los elementos capturados (cromatismo, textura,...) (ANGULO, 2012).

Debido a la heterogeneidad formal que caracteriza a las estructuras visibles del patrimonio arquitectónico y arqueológico, constituidas por estructuras murarias muy irregulares y en ocasiones provistas de deterioros y desgastes motivados por efectos de los agentes externos, sean climatológicos o humanos, en un dilatado periodo en el tiempo, se ha optado regularmente por la fotogrametría como método apropiado de levantamiento. En el trabajo desarrollado por el grupo de investigación HUM799 de la Universidad de Sevilla, dirigido por el profesor Francisco Pinto, en el conjunto arqueológico de Itálica, la fotogrametría la han incorporado en el sistema de información propuesto[99] como una estrategia de base fiable y contrastable para el análisis del patrimonio construido. "Los datos captados in situ consistieron, por un lado en una serie de fotografías de

[99] Sistema referenciado en el apartado 4.4.11. La implementación de otros Sistemas de Información

características determinadas que servirán de base para la restitución formal del objeto, y por otro mediciones topográficas de puntos de apoyo que proporcionaron la escala y la ubicación referenciada a un sistema de coordenadas general"(ANGULO, 2012: 17).

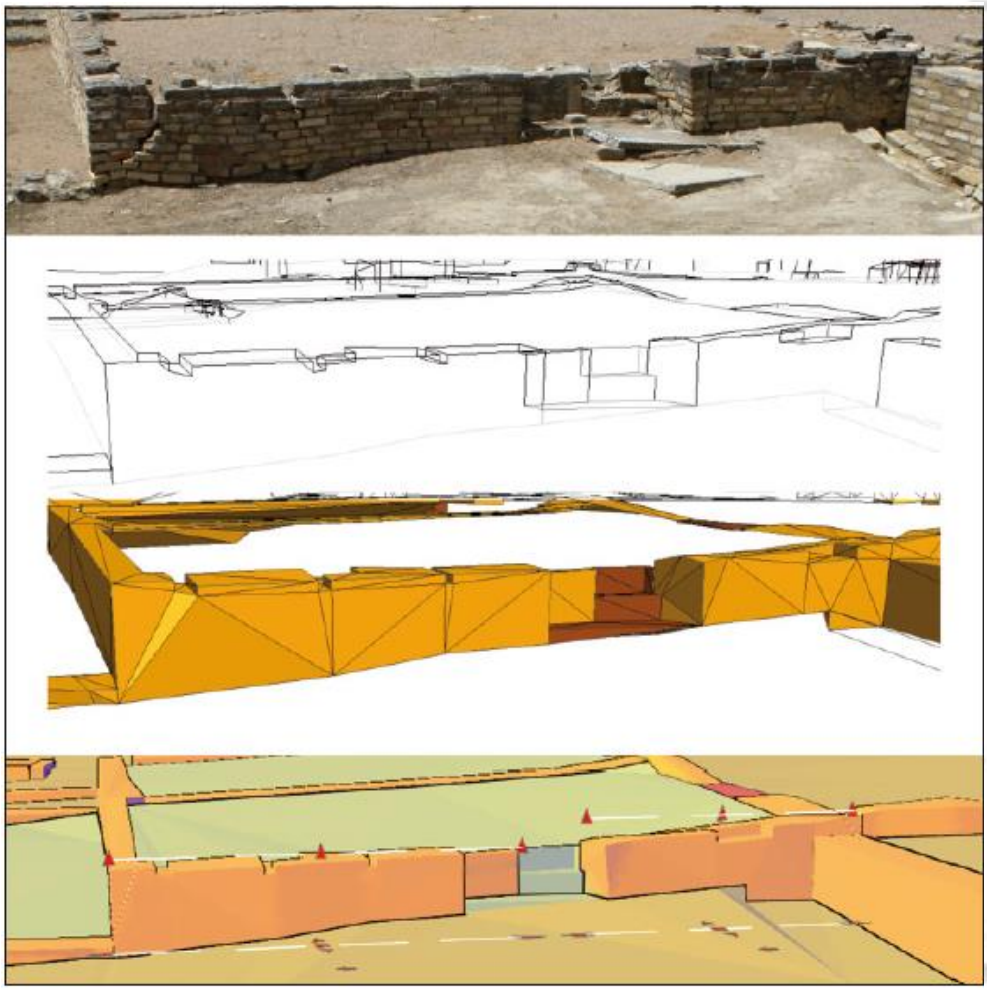


Fig. 104. Modelado de elementos a partir de fotogrametría. Casa de Hylas. Conjunto Arqueológico de Itálica. Fuente: R. Angulo. Arqueología de La Arquitectura, Vol.9, p. 20, 2012.

Pero hay otra peculiaridad de este sistema intrínseca a la fotografía que debemos aprovechar para incorporar la información sobre la apariencia y materialidad de las geometrías antes procesadas (desde la adquisición de medidas hasta el modelado del elemento). Hoy disponemos de muchos softwares, sean de modelado o exclusivos de fotogrametría, que nos posibilitan aplicar con precisión las ortofotos (obtenidas de tomas fotográficas en el lugar) en los elementos del modelo, sean estos obtenidos por herramientas específicas de construcción para agregar sistemas preestablecidos (sistemas BIM) o por sistemas de medición que nos proporciona superficies trianguladas que después son importadas en nuestro proyecto (Fig. 105).

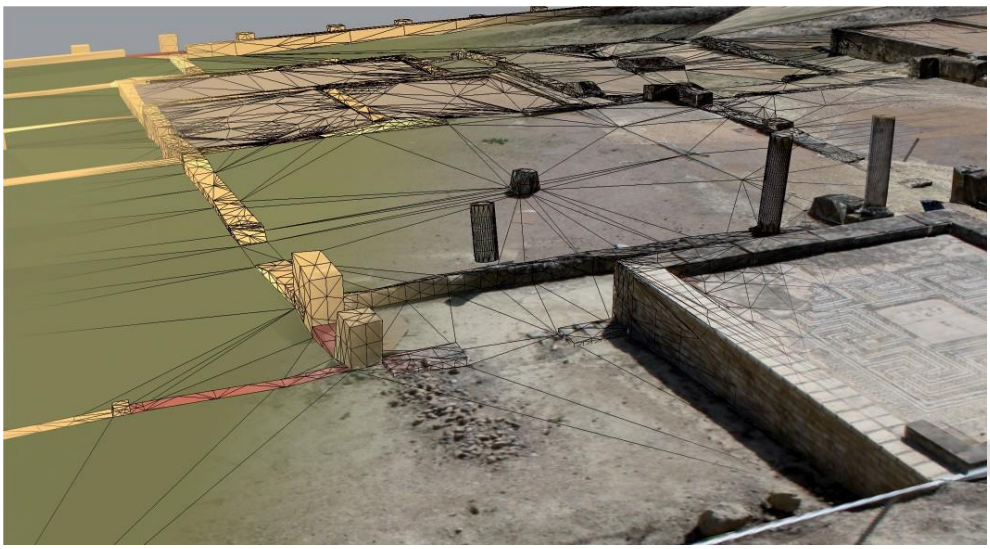


Fig. 105. Asociación de imágenes fotométricas a la malla triangulada. Casa de Hylas. Conjunto Arqueológico de Itálica. Fuente: R. Angulo (2012). Arqueología de La Arquitectura, Vol.9, p. 20.

En los próximos capítulos del desarrollo de la tesis pretendemos evidenciar la necesidad de incorporar en el patrimonio arquitectónico el modelo digital de información como sustento a los análisis científicos abiertos en los diferentes campos disciplinares. Para un buen conocimiento arquitectónico debemos disponer desde el inicio de la planimetría real del edificio, necesaria para localizar en otras fases de análisis las trasformaciones y deformaciones ocasionadas por el prolongado transcurrir de su vida. Pero no podemos conformarnos solamente con una toma de datos precisa, que aunque nos permitirá una comprensión científica con la precisión y nivel de detalle pretendido, esta metodología estaría desprovista de una componente trascendental, como es la captura del estado físico y ambiental. Es por ello que deberemos agregar la restitución fotométrica en el análisis científico para lograr un conocimiento insondable del patrimonio arquitectónico.

4.5.5. La tecnología Láser en los levantamientos

La tecnología ha seguido avanzando, y actualmente los sistemas más mejorados sobre técnicas de adquisición de medidas emplean la tecnología Láser o LiDAR[100], que nos permite determinar la distancia desde el equipo emisor a un objeto geométrico utilizando un haz de láser.

Estos equipos, también divulgados como escáner láser 3D**,** pueden capturar de manera moderada y a muy alta resolución cualquier elemento en tres dimensiones, y posteriormente ser analizado y reproducido digitalmente en un software de CAD, SIG o BD. El escáner tridimensional lo que genera es una información en forma de "nube de puntos" de alta densidad en verdadera magnitud, a partir de la cual se realizará cálculos métricos, obtener alzados, secciones, vectorizar entidades y modelar los elementos estudiados. Según

[100] Se suele emplear el término específico de *LiDAR* (Laser Imaging Detection and Ranging) cuando se asocia a escáneres aerotransportados (ALS). Para realizar el escaneado se combinan dos movimientos. Uno longitudinal dado por la trayectoria del avión y otro transversal mediante un espejo móvil que desvía el haz de luz láser emitido por el escáner.

Mañana (2008:16) una sesión de escaneado láser equivale a "miles de mediciones individuales en un sistema de coordenadas (x, y, z), que en sí mismas componen un modelo tridimensional de los objetos registrados, aunque como tal conjunto de puntos (sin procesar) constituye un modelo muy simplificado que opera sólo visualmente, pues se compone únicamente de entidades singulares de tipo punto". De lo que podemos deducir que con una sesión en campo no se termina el trabajo, siendo necesaria una segunda etapa de procesado de puntos para la correcta interpretación de la información captada.

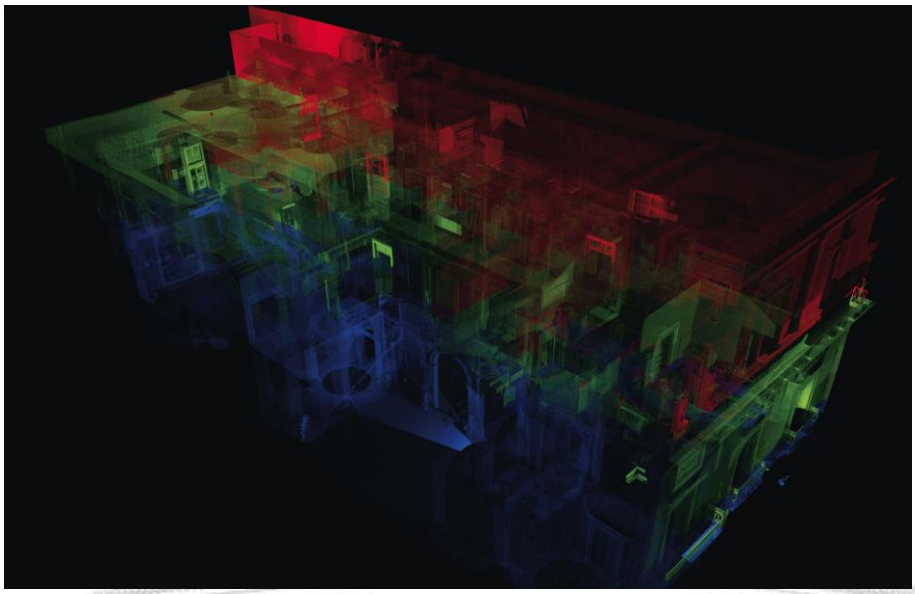


Fig. 106. Levantamiento por Escáner Láser del edificio de la Coordinación de Monumentos Históricos. (INAH), México, D.F. Los diferentes colores marcan las sesiones de escaneos. Fuente: Rev. EGA 17, pág.48, 2011.

El escáner láser fue desarrollado inicialmente para la metrología y la industria del automóvil, aunque actualmente ocupa todas las ramas de la ingeniería y se ha difundido a otros campos más heterogéneos: es el caso de la industria del cine y del entretenimiento (para la creación de videojuegos), y en la visualización y difusión de la arquitectura.

Fig. 107. Recreación virtual del interior de la iglesia del monasterio de San Juan de Duero, Soria. Al escaneado en 3D con el equipo de Leica se le añadió las sesiones fotográficas y el tratamiento de imágenes. Trabajo realizado por la empresa Flas Entertainment, especialista en creación de imagen virtual para videojuegos.

Su introducción en el campo del patrimonio construido ha sido rápida, ya que a su gran eficacia se le añade la cualidad de una precisión contrastada. Hasta llegar a ser en la actualidad imprescindibles en las actividades de adquisición de datos en arqueología y arquitectura patrimonial, más cuando las intervenciones en estos ámbitos requieren una captura de la geometría fiel a lo que está construido, tanto para saber cómo está ('As is') como para averiguar cómo se construyó ('As built').

4.5.5.1. Principios básicos del escáner 3D

El propósito de estos dispositivos es obtener una representación discreta de una superficie continua mediante una nube de puntos en el espacio, llegándose a extrapolar la forma del objeto mediante procesos de reconstrucción 3D. Además de recoger información de la intensidad de rebote del haz de luz láser en cada uno de los puntos, también se recopila información del color en cada punto, pudiendo determinar y reproducir el color de la superficie representada. Finalmente con la nube de puntos se obtienen imágenes digitales tridimensionales, llegándose a sustituirse la información rojo-verde-azul (RGB) por el valor de intensidad (I) o por el valor de distancia (D).

Podríamos diversificar tres tipos de escáneres láser en función los principios aplicados para la medición:

1. Medición basada en triangulación. El principio de medición está basado en el cálculo del triángulo formado por los componentes del escáner y el elemento a medir. Son equipos de alta precisión, en torno a la décima o centésima de milímetro, siendo la distancia máxima del equipo láser al objeto de un par de metros[101]. Su frecuencia es elevada (en torno a 100 MHz o incluso superior). Aunque el alcance es mucho menor en comparación con los siguientes equipos, se puede llegar a alcanzar precisiones mucho más elevadas[102].

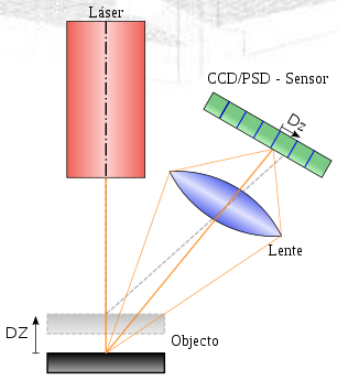


Fig. 108.Reconstrucción interna de un láser basado en el principio de la triangulación

[101] La distancia máxima está condicionada por el ángulo de intersección en función de la base láser y el sensor de la cámara digital.
[102] NAVARRO 2005. Ver su extractado estado de la cuestión de la tecnología láser para los levantamientos.

2. Medición basada en el tiempo de vuelo mediante pulsos. Este método determina el cálculo de la distancia en función del tiempo transcurrido en recorrer el haz de luz láser el doble de la distancia entre el emisor y el objeto. El equipo de escáner láser cuenta con un sistema de espejos rotatorios y servomotores que direccionan la trayectoria del haz tanto en el plano vertical como en el horizontal. Su frecuencia está comprendida entre 2 y100 MHz y permite la toma de datos en largas distancias, desde los centenares de metros hasta alcanzarse varios km con una precisión que oscila entre los 6 y 30 mm sintético.

$$D = \frac{C \cdot (T_1 - T_0)}{2}$$

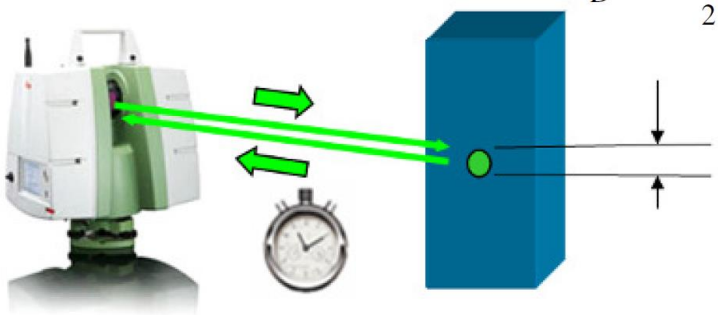


Fig. 109. Principio de medición basado en el tiempo de vuelo mediante pulsos: a) cálculo de la distancia; b) rotación del haz de luz láser (imagen gentileza de Leica Geosystems).

3. Medición basada en la tecnología de tiempo de vuelo. Se dan dos tipologías:

- Mediante diferencia de fase: El haz de luz láser se propaga según ondas sinusoidales, siendo la longitud de dichas ondas conocida. La distancia a medir se calcula en función del número entero de longitudes de onda y el desfase entre la onda emitida y la reflejada en el objeto. En estos equipos el alcance es intermedio: normalmente inferior a doscientos metros. Trabajan en frecuencia muy alta: 500 -600 MHz y con precisiones entre 2 y 10 mm.

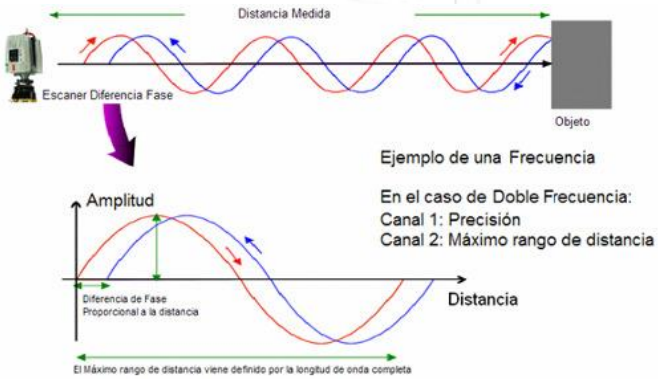


Fig. 110. Principio de medición basado en el tiempo de vuelo mediante diferencia de fase (imagen gentileza de Leica Geosystems).

- Mejorado por digitalización de forma de onda, Waveform Digitising (WFD). Se puede conseguir una distancia de lectura de 120 metros. La frecuencia es de 1 millon pts/seg con una precisión inferior a 1mm. Estos equipos llegan a incorporar en una sola unidad: escáner, sensor de inclinación,

batería, controlador, almacenamiento de datos, auto-exposímetro de cámara de vídeo y plomada láser. Pero además permite al usuario realizar escaneos de bóveda completa en muy pocos minutos usando un espejo giratorio[103].

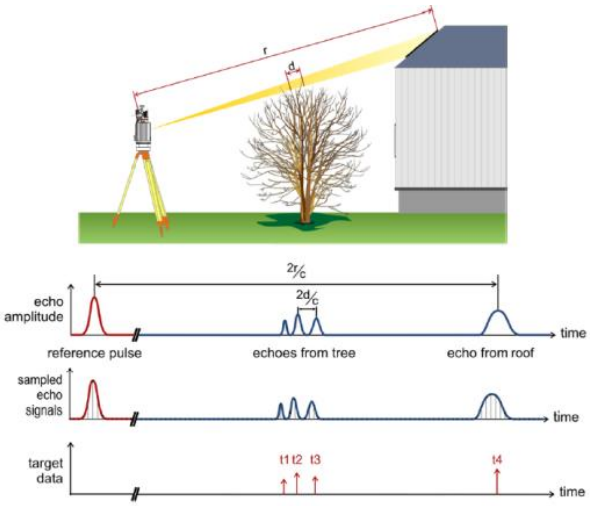


Fig. 111. Interacción del impulso de láser con diferentes objetivos, el proceso de digitalización, y la extracción de objetivo por FWA.

Los equipos más recientes realizan la medición de distancias sin prismas reflectores obteniendo la posición relativa de cada punto con la estación, pero con la gran diferencia respecto a las estaciones totales REDM de que la adquisición de coordenadas de los puntos es masiva y con una resolución de 0.5 mm. La gran cantidad de puntos obtenidos en tan poco tiempo permite su visualización in-situ y la orientación de las distintas estaciones con el ajuste de pequeños sectores de nubes de puntos en zonas superpuestas. Entre ellos se encuentra el modelo ScanStation C10 de Leica, que se ha empleado en el levantamiento geométrico del Cenador de Carlos V del Alcázar de Sevilla.

Fig. 112. Equipo ScanStation C10 Leica, utilizado en el levantamiento del Cenador de Carlos V. Alcázar de Sevilla (Imagen gentileza de Leica Geosystems).

En el capítulo de Análisis de aplicaciones y equipos adecuados para el desarrollo de la tesis se han descrito las características trascendentales que determinan su idoneidad en este trabajo.

Pero matizaremos que, aunque la exactitud de estos equipos de medición es muy elevada, habría que tener muy presente otros factores que condicionarán

[103] El ScanStation C10 de Leica cuenta con importantes avances de productividad, al incluir el nuevo X-Mirror Smart ™. Con un rendimiento excepcional para trabajos tanto exteriores como interiores, hace la Topografía de Alta Definición (HDS ™) aún más rentable para los as-built, levantamientos topográficos y monitorizaciones.

nuestro trabajo de campo. Suele darse un pequeño porcentaje de imprecisión motivado por las propias condiciones ambientales existentes en las sesiones y por las características de las superficies que se miden, errores debidos principalmente a la reflexión de la luz.

4.5.6. El Escáner Láser en el análisis del patrimonio arqueológico y arquitectónico

En las disciplinas que se desenvuelven dentro del Patrimonio el tema topológico cobra un papel fundamental, donde el rol de la documentación gráfica será siempre relevante para la lectura e interpretación de paramentos: "la excavación estratigráfica presupone siempre representaciones topográficas en relación a la necesidad de la reconstrucción científica y por lo tanto de las relaciones estratigráficas y su periodización" (CARANDINI, 1996: 65). En cualquier análisis arqueológico la representación o registro gráfico tiene un papel mucho más activo cuando lo que se quiere es analizar la disposición de los elementos y sus relaciones.

Pero es habitual encontrarnos con revestimientos en estructuras que no permiten una primera observación de su configuración intrínseca, impidiendo un análisis estratigráfico más minucioso. Esto nos hace apostar desde el primer momento por un sistema seguro de tomas de medidas que nos facilite un modelo representativo lo más cercano a la realidad, y que será la base de nuestro análisis configuracional. Nos acogemos, por tanto, a lo que nos señala Mannoni (1998: 83): "un levantamiento geométrico detallado y preciso es un óptimo indicador de las medidas y de las coincidencias a diferentes planos de aquello que no se ve". Este sistema preciso será la base esencial a la cual asociaremos la información espacial georreferenciada de los elementos (AZKARATE, 2002: 67), y además nos permitirá definir la secuencia cronotipológica con la caracterización e individualización de las variables.

Fig. 113. Imagen de nube de puntos del Monasterio de San Juan de Duero, Soria. Realizado con el escáner Leica ScanStation2. Fuente: Leica Geosystems.

El empleo del escáner láser en el levantamiento del patrimonio construido se ha hecho imprescindible hoy en día, pero la información obtenida en nube de millones de puntos es tan elevada que lo primordial es saberla gestionar de la manera más eficaz para adecuarla a un caso particular (Fig. 113).

Pero la contribución de la tecnología por escaneado láser sobrepasa una simple función de visualización del territorio o edificio barrido. A la visualización tridimensional hay que acompañarle una documentación planimétrica fiable para que el especialista de cada disciplina pueda analizar el hecho constructivo.

4.5.7. El Vectorizado de la información

Una vez finalizado el escaneado del edificio se empieza a procesar los datos capturados en el software del equipo[104] con la finalidad de obtener un conjunto de puntos, y sobre la que se realizarán selecciones de partes concretas de la nube de puntos para capturar plantas, secciones y ortofotos de manera automática.

Este modelo tridimensional ráster es apto para visualizaciones del edificio, crear ortofotos, obtención de medidas y recorridos; pero suele estar falto de definición en los contornos de paños y aristas de elementos cuando la precisión no es muy elevada. Lo habitual es que se pida una representación vectorial más clara del elemento registrado, con proyecciones en 2D, superficies y modelos 3D sólidos. El procedimiento se ha auxiliado normalmente del CAD, que trae consigo un trabajo manual de delineación de detección de bordes y superficies (nada automático), muy alejado de una sistemática programada.

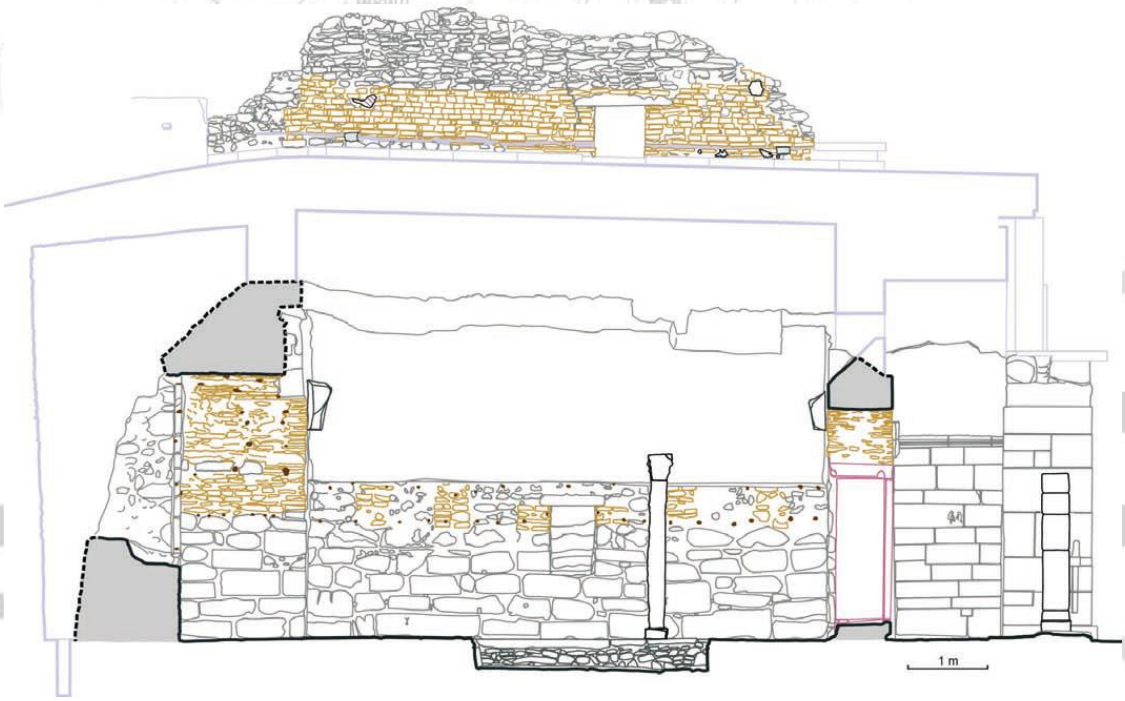


Fig. 114. Santa Eulalia de Bóveda (Lugo). Alzado Norte delineado en AutoCAD. (MAÑANA-BORRAZÁS et al., 2008)

[104] Una de las primeras fases de procesado de las nubes de puntos es la unión de los distintos escaneos que. Los equipos de escáner Láser de Leica emplean el programa Cyclone.

Son muchos los autores coincidentes[105] en que el uso de esta metodología de registro deriva en una tarea de procesamiento poco productiva, por su complejidad y por el tiempo empleado en obtener resultados satisfactorios, frente a un procedimiento de captura de datos automático, rápido y muy eficaz. Y la opción de emplear algoritmos para la conversión de las coordenadas en superficies malladas suele ser compleja por las características propias del patrimonio edificado, donde se dan salientes, molduras y elementos ornamentales con formas orgánicas y vegetales.

Si es algo que hay que destaca de esta tecnología sobre el resto de prestaciones es la obtención directa y rápidamente de ortofotos sobre la misma nube de puntos, con la consiguiente toma de medidas. En una de las realizaciones presentadas por el Laboratorio de Patrimonio del en CSIC. Santiago de Compostela (LaPa), como fue el conjunto monumental de Santa Eulalia de Bóveda (Lugo), se realizaron visualizaciones frontales de paramentos para obtener imágenes "sin deformaciones y con validez métrica". La ventaja respecto a los procesos de rectificación de imágenes es que la técnica es mucho más precisa al evitar la adquisición de puntos de referencia para el procesado, alejándonos de la interpretación humana, que aunque experta no deja de estar rodeada de aleatoriedad.

Fue interesante la técnica de superposición de imágenes de mayor resolución, obtenidas con equipos auxiliares fotográficos, a la nube de puntos o a la malla de la superficie que se quería representar. El nivel de detalle alcanzado por la ortofoto es muy superior al visualizarse sobre una superficie y no puntos (Fig. 115).

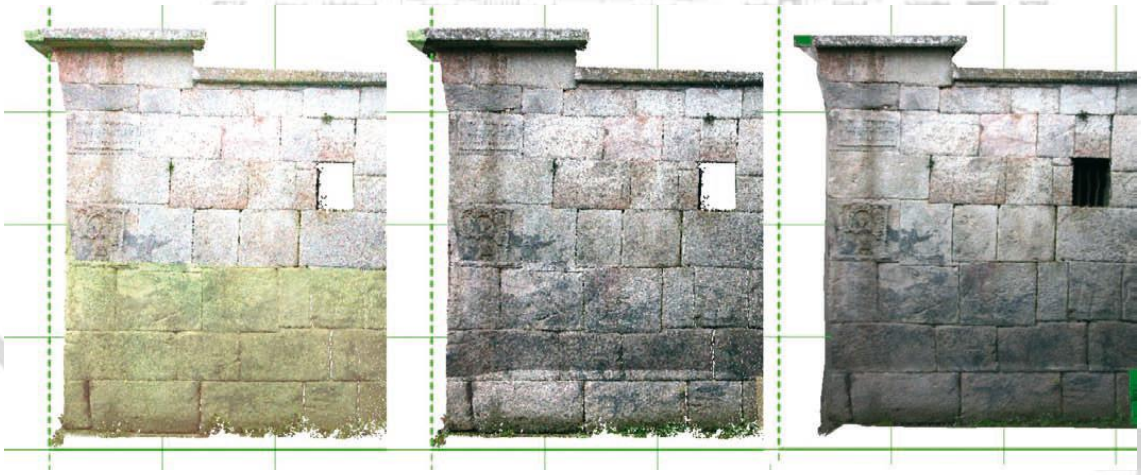


Fig. 115. Fachada Oeste del Nártex Santa Eulalia de Bóveda (Lugo). a) Ortofoto sobre nube de puntos con imagen del escáner (izquierda): b) con imagen rectificada sobre la nube (centro); c) y ortofoto sobre malla triangulada con imagen rectificada (derecha). Fuente: Arqueología de La Arquitectura, Vol.5, pp. 25, 2008.

Este tipo de experiencias con las nuevas técnicas de levantamiento en el Patrimonio Construido, según palabras de los propios autores, "han aportado una información muy valiosa tanto desde el punto de vista de la representación, el análisis del objeto arqueológico y arquitectónico, la propia interpretación o la

[105] Citemos a (ARAYICI, 2007), (MONSERRAT y CROSETTO, 2008), (ROCA-PARDIÑAS et al., 2008) y (MAÑANA-BORRAZÁS et al., 2008).

generación de resultados, como en las reconstrucciones tridimensionales de las distintas fases documentadas". (MAÑANA-BORRAZÁS et al., 2008).

4.5.8. Extracción de la documentación planimétrica

Cualquier trabajo topográfico habitual requiere fundamentalmente de tres etapas: el procesado de los datos adquiridos por el equipo, la gestión de la información y la elaboración de la planimetría final que interprete gráficamente el edificio inspeccionado: plantas, alzados, secciones, axonometrías e incluso perspectivas que nos permitirán estampar la geometría y una comprobación dimensional en cualquier momento.

Esta documentación gráfica es por lo general una transformación de las medidas tomada por la estación topográfica, una relación de puntos del edificio en valores espaciales (x_i,y_i,z_i), a segmentos vectoriales que conformarán un modelo alámbrico. Pero el procedimiento de interpolación empleado no es del todo cierto, salvo en sus conexiones extremas, si no se ha tenido en cuenta los puntos intermedios que determinan cambios o irregularidades en las superficies exploradas.

Con el empleo de un láser escáner las fases del levantamiento no se modifican, pero el procedimiento sufre variaciones considerables, sobre todo en la delineación de la documentación gráfica, motivado principalmente por la fiabilidad de los datos interpretados. La tecnología de medición por láser nos permite obtener una información tan precisa que no serían necesarias las tareas de vectorización. Lo único que tendríamos que tener en cuenta a la hora de configurar el equipo es marcar una resolución óptima[106] que nos permita obtener unos contornos de los elementos capturados con la precisión suficiente para no tener que ser delineados posteriormente. No olvidemos que al seccionar la superficie exterior de un muro escaneado (pensemos en un corte horizontal para determinar una planta a una altura de 1.50 m), el borde lo determina un conjunto de puntos que no guardaban una verticalidad pulcra.

Estaríamos en un terrero más cercano a la manipulación de la imagen que a los trabajos precisos de delineación, que utilizan vectores. Por tanto, es importante en estos casos elegir la escala idónea de representación para que los bordes de pixeles se acerquen visualmente a una línea continua. Aunque algunos objetos pequeños no tendrán una calidad en el detalle suficiente para su correcta representación cuando la precisión del escáner no detecte los cambios en su geometría. Este inconveniente estará ampliamente compensado pues la nueva metodología nos permitirá acercarnos a una interpretación más real y objetiva, reafirmando lo expresado por GARCÍA-GÓMEZ et al. (2011: 29): "Creemos que

[106] Para elegir la resolución óptima hay que pensar en la finalidad del trabajo, es decir, cuál es el detalle más pequeño que deseamos representar, teniendo bien presente la precisión máxima que puede ofrecer el equipo (si la precisión nominal del escáner, es decir, la variación mínima de magnitud que puede detectar, es de 3 mm, no tiene sentido medir un punto cada 2 mm) GARCÍA-GÓMEZ et al. (2011).

estos defectos son sólo aparentes, producto de una visión y una estética formal que tiene una larga tradición. Quizá debamos empezar a superarla, quizá debamos tender hacia una *estética de la objetividad*; rígida, áspera, pero metódicamente veraz".

De este modo, nos alejaremos de los trabajos subjetivos que buscan más una perfección y armonía propia de una arquitectura renacentista que la realidad del patrimonio histórico.

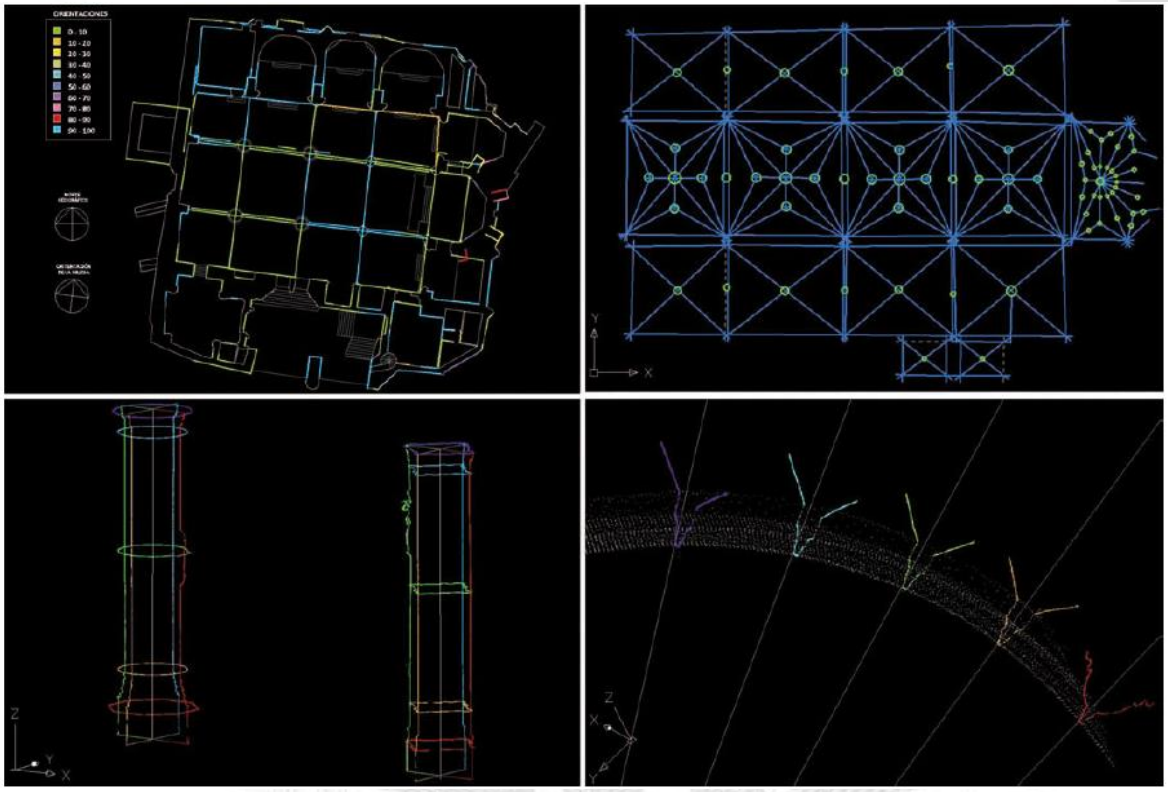


Fig. 116. Levantamiento de la Iglesia de San Miguel de Vitoria-Gasteiz utilizando un Escáner Láser Faro, modelo Focus3D: a) Orientaciones de paramentos; b) Geometría de las bóvedas; c) Secciones en pilares; d) Secciones en nervaduras. Fuente: Arqueología de La Arquitectura, Vol. 8, pág. 27, 2011.

Los modelos tridimensionales de nube de puntos, una vez hayan pasado la fase de procesado, podrán ser usados para extraerles vistas y secciones ortogonales que nos faciliten la toma de medidas de elementos y su disposición dentro del conjunto. En el trabajo de la iglesia de San Miguel de Vitoria-Gasteiz, citado anteriormente, el especialista en arqueología del equipo pudo comparar los perfiles de los diferentes pilares en basa, fuste y capitel, de las nervaduras en bóvedas y analizar la disposición del dovelaje de los arcos sin ser necesaria una postvectorización (Fig. 119).

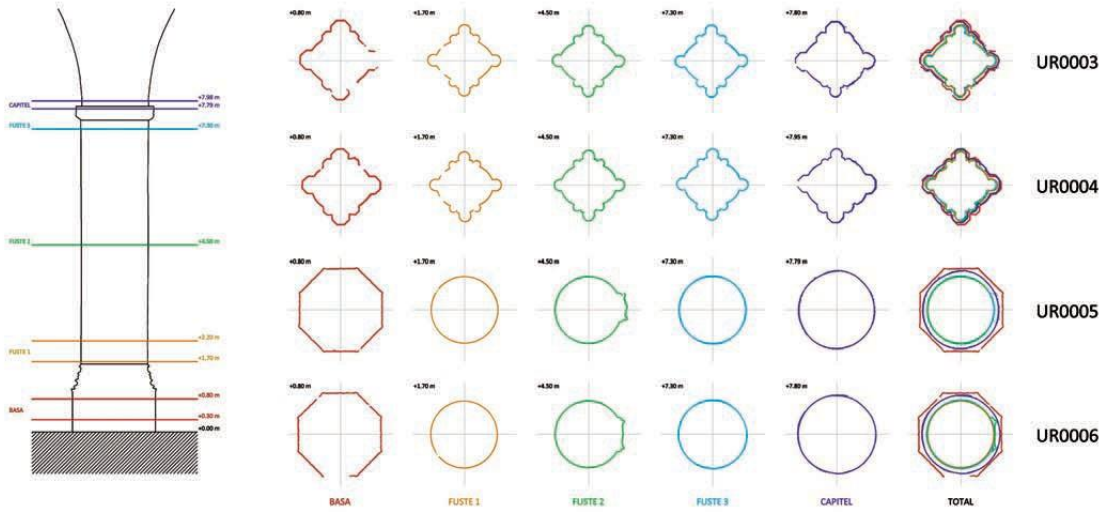


Fig. 117. Secciones a distintos niveles realizada a los pilares de la iglesia de San Miguel de Vitoria-Gasteiz (imagen 15 del artículo. Arqueología de La Arquitectura, Vol. 8, pág. 43).

4.5.9. Detección de patologías

El levantamiento por escaneado laser constituye, además, una técnica que puede ayudar significativamente en tareas específicas de restauración y conservación del patrimonio, con un análisis geométrico y control dimensional del edificio escaneado. Podremos localizar hundimientos en las estructuras, determinar cambios sustanciales en las superficies de los muros y patologías motivadas por humedades.

Fig. 118. En la imagen se identifica el desplome hacia el exterior del muro este, con un tono diferente en la escala cromática para representa la desviación con respecto al plano vertical (mm). Iglesia de San Juan de Duero, Soria. Instrumentación: Escáner 3D Leica ScanStation 2 y Software Leica Cyclone.

Así, y en palabras del profesor Jesús San José cuando se refiere a la *fotogrametría láser*, "los modelos generados permiten ser explotados para la generación de representaciones convencionales, como las planimetrías que representan en planta o sección el monumento, permitiendo la creación de ilimitadas familias de cortes, con los que, dadas las precisiones de las capturas, estudiar deformaciones y alteraciones, pero también documentos que permiten la visualización virtual del bien documentado. (SAN JOSÉ, 2011:119).

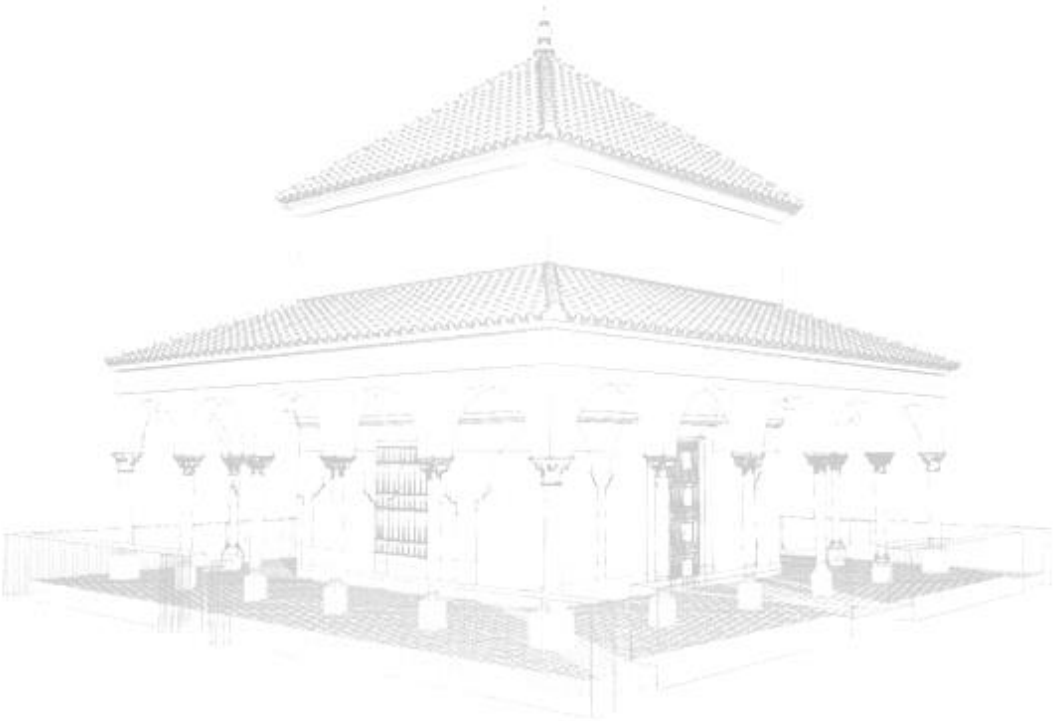
Respecto En primer lugar, los nuevos medios tecnológicos posibilitan la captura rápida de datos tridimensionales con los que elaborar documentaciones métricas de una precisión y fiabilidad antes no imaginada, pero, sobre todo, hacen posible la generación de modelos virtuales 3D que consiguen simular el objeto real.

Ahora que los precios de adquisición de un escáner láser son más asequibles y que la especialización en su uso es menos complicada, habría que aprovechar para continuar experimentando con esta tecnología como la mejor vía para el progreso de la técnica. Uno de los propósitos marcados en esta tesis es la complementación del escaneado láser, como técnica de levantamiento precisa, con los modelos de información o BIM. En la metodología que estableceremos en el capítulo siguiente se tendrá muy cuenta los sistemas más avanzados de toma de datos que estén a nuestro alcance, para que nos ayude en la obtención de un modelo de información preciso y eficiente con miras a una mejor gestión del patrimonio construido.

De lo expuesto en este estado de la cuestión se podría concluir que el láser escáner está actualmente en un proceso de implementación, al igual que pasó con otras técnicas innovadoras que entraron con moderación y algunas reticencias en el campo patrimonial: es el caso de la fotogrametría. Se está cada vez más cerca de lograr una metodología consensuada para el empleo de esta tecnología en los trabajos del patrimonio arqueológico y arquitectónico. Los trabajos expuestos anteriormente y muchos otros demuestran que el camino recorrido ha sido fructífero, con ensayos científicos y trabajos profesionales que han hecho avanzar bastante en la consumación de la técnica y con resultados inalcanzables no hace muchos años.

Capítulo 5

ESTADO DE LA CUESTIÓN



5. METODOLOGÍA

Dentro del marco teórico multidisciplinar del capítulo anterior, que engloba a las disciplinas que confluyen en un edificio histórico (historiadores, arqueólogos y restauradores), a los técnicos de la arquitectura, a los agentes de la construcción y a los especialistas en el levantamiento y modelado de la edificación, en un escenario que traspasa las fronteras de nuestro país y con sistemas de intervención avalados por la comunidad científica internacional, se ha realizado una exposición de la situación actual de los procedimientos de representación gráfica y su aplicabilidad a la conservación y difusión del Patrimonio.

Ahora corresponde establecer una metodología que permita lograr los objetivos marcados al inicio de este trabajo, apoyándonos en la experiencia adquirida por el uso de los sistemas de información BIM, y poder llegar a la demostración y verificación de los resultados obtenidos en base a unos modelos representativos que sean idóneos para su aplicabilidad al patrimonio arquitectónico.

Para un buen análisis del patrimonio construido, en su modalidad arquitectónica y arqueológica, es fundamental establecer desde el inicio una *metodología científica*. Aunque para que el trabajo esté avalado por un rigor científico y de precisión, hay que partir de una etapa previa de estudio del elemento patrimonial. En ésta se marcarán los principios básicos que regirán el trabajo científico y se confeccionarán las posibles hipótesis de partida para la intervención en el patrimonio, sea reconstrucción, rehabilitación o adecuación. Toda labor de investigación que nos permita documentarnos hará que el arranque en la elaboración del modelo "virtual" sea mucho más efectivo[107]. Pero es importante que este principio básico deontológico rija todas las fases de modelado, su animación, así como en su difusión.

También hay que contar, previamente a la elaboración del modelo, con una campaña de levantamiento del elemento patrimonial que nos permita un conocimiento del edificio o conjunto y una aproximación sin falsas interpretaciones de su identidad constructiva, histórica y artística[108]. Procediendo de esta forma se puede certificar que el trabajo estará avalado científicamente.

[107] Nieto Julián, E. (2010).

[108] Almagro Vidal (2008:85).

➢ Estructura del proceso metodológico

La sistemática propuesta para esta Tesis ha quedado estructurada en cinco fases de actuación, que serán desarrollas en los siguientes capítulos de la investigación. En el siguiente gráfico queda esquematizada la progresión de dichas fases.

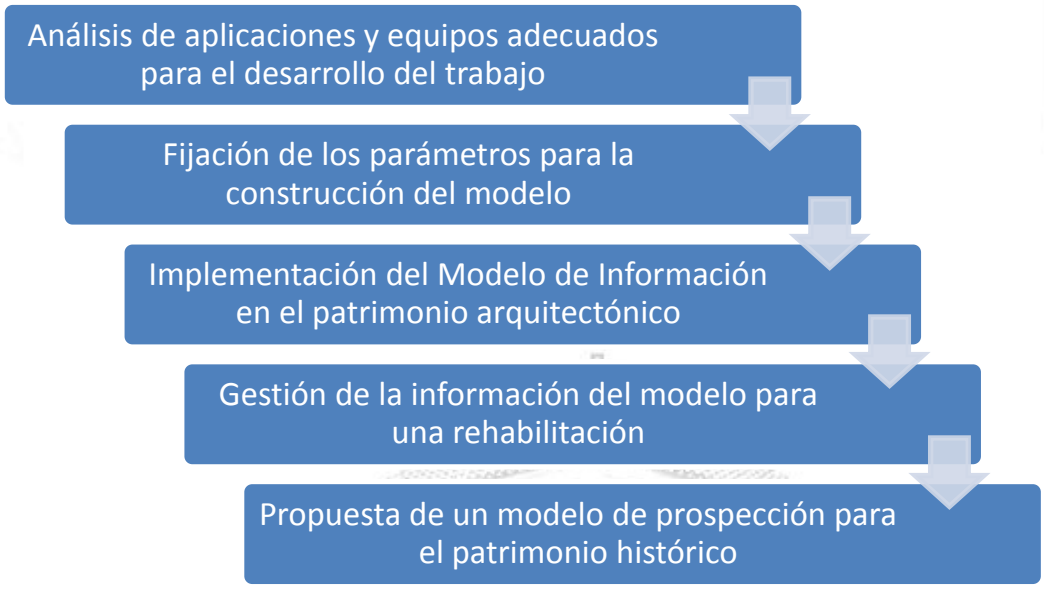


Fig. 119. Progresión de las fases de actuación que conformarán la metodología de la Tesis.

5.1. Análisis de aplicaciones y equipos adecuados para el desarrollo del trabajo

Es primordial realizar un examen previo de todas las herramientas y medios informáticos que nos ofrece el mercado actual antes de proceder a una selección para que su aplicabilidad sea apropiada en este proyecto de tesis. Nos vamos a mover dentro del área de la expresión gráfica en una parcela dedicada al avance de las últimas tecnologías en la representación de la edificación, lo que significa que muchos de los recursos tecnológicos sean inaccesibles por sus elevados costes. Pero este hecho no ha condicionado el desarrollo del trabajo, pues se ha verificado que los equipos finalmente aplicados, si bien algunos se han elegidos por su facilidad en la adquisición, son adecuados a nuestra investigación.

Aunque la metodología se fundamenta principalmente en el uso de modelos de información aplicados al patrimonio empleando la tecnología BIM, para obtener una documentación acreditada tendremos que apoyarnos en otros sistemas específicos que nos sirvan para la confección de un modelo preciso: técnicas de levantamiento del edificio empleando los equipos escáner láser 3D, el escáner portátil óptico para la toma de geometrías de detalles y pequeñas piezas

arquitectónicas, y el apoyo de los software para la manipulación de la imagen fotográfica.

5.2. Fijación de los parámetros para la construcción del modelo

En este capítulo se establecerá una estrategia previa al trabajo de modelado, que será fundamental para que la metodología sea efectiva. Se programará una ordenación del proyecto BIM fundada en un proceso real de construcción, pero considerando las particularidades propias del edificio histórico.

5.3. Implementación del Modelo de Información en el patrimonio arquitectónico

Aquí se ensayará con el modelo de información aplicado a casos concretos del patrimonio arquitectónico, con la estructuración metodológica propuesta en el proyecto BIM para la obtención de una documentación gráfica completa sustentada en bases de datos sólidas.

Se han elegido varios ejemplos relacionados con el patrimonio arquitectónico para que sirvan de base a un proyecto de intervención, empleando los nuevos sistemas de representación y gestión de la información, encaminado a su mejor implementación y siempre apoyados por equipos tecnológicos precisos en la toma de datos.

5.4. Gestión de la información del modelo para una rehabilitación

Consideramos esta fase fundamental para que el proyecto HBIM se consolide y supere la simple representación gráfica del hecho patrimonial. Por ello, se pretende implantar un procedimiento bien estructurado para organizar la información (gráfica y alfanumérica), vital para una transmisión de datos a todos los agentes del equipo multidisciplinar. Este quedará sustentado en las siguientes etapas:

- Organización de la información generada en el proyecto HBIM, donde se establecerá una identificación idónea de los elementos del modelo y la subsiguiente agrupación por categorías constructivas (capas).

- Asignación de las fases de rehabilitación. Con ello se gestionará gráficamente la evolución del modelo BIM en sus continuados estados de la intervención: Estado actual, Estado rehabilitado o intervenido (sin revestimientos) y estado después de la rehabilitación (con revestimientos).

- Identificación de unidades estratigráficas en el análisis arqueológico. El procedimiento nos permitirá identificar y sectorizar las diferentes técnicas constructivas en los paramentos picados, alteraciones en las fábricas y sustituciones de piezas arquitectónicas.

- Identificación y clasificación de piezas para la restauración de los revestimientos, fundamental para que el especialista realice sus estudios metódicos en paños de azulejos, piezas de artesonados, baldosas en pavimentos, etc.

- Asociación del sistema constructivo a las unidades edilicias y estratigráficas del modelo. Esta tarea se realizará desde el inicio del modelado al estar bien identificando o por homologías con otras edificaciones (proximidad o tipología histórica), y se irá completando a la vez que se vayan refrendando los elementos descubiertos en las prospecciones: aparejos en muros, viguerías en forjados y formación de cubiertas.

- Identificación de patologías y singularidades en la rehabilitación.

- Filtrado de la información del modelo para mostrar la evolución histórica/ constructiva del edificio en base a la clasificación de los elementos: tipología, función estructural, posición, estado de rehabilitación.

- Listados de datos para la rehabilitación, necesarios para conocer las cuantías de los componentes del edificio examinado. De ellos podremos sacar las unidades a conservar, reparar y las nuevas adquisiciones en función de los ítem implantados para las labores de restauración.

- Inventario de los elementos arqueólogos y arquitectónicos del proyecto HBIM.

- Listados para el estudio paramental. En ellos se incorporarán unos ítems característicos para analizar las unidades estratigráficas.

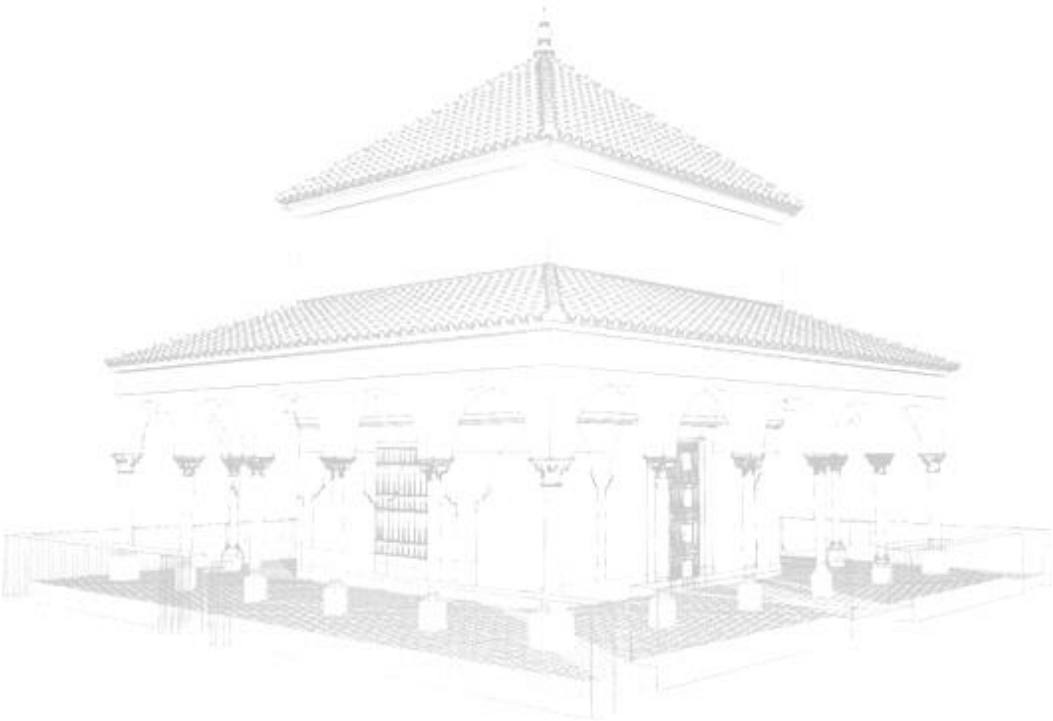
- Generación de mediciones y vinculación de los elementos del modelo BIM a unidades de obra para obtener el presupuesto de la restauración o rehabilitación.

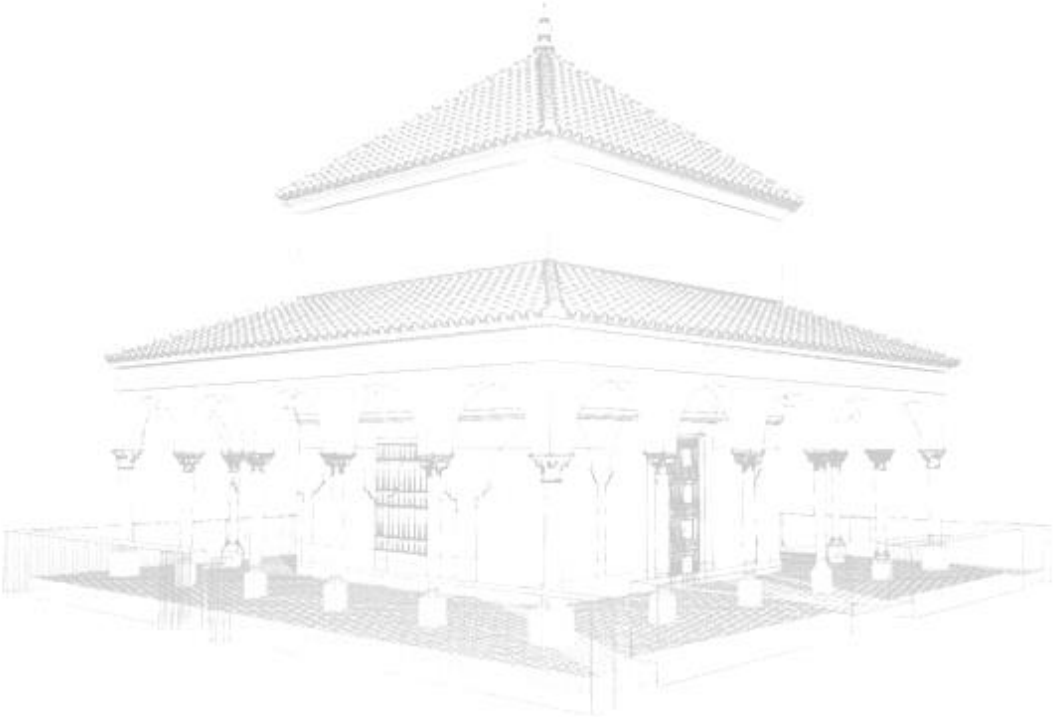
- Generación de la planimetría del proyecto HBIM.

- La exploración virtual del proyecto. El modelo de información BIM estará preparado para ser explorado virtualmente, con acceso a toda la información gráfica y a las bases de datos, tanto por el equipo multidisciplinar como por otros investigadores externos al proyecto.

5.5. Propuesta de un modelo de prospección para el patrimonio histórico

Lo que se propone en este apartado viene avalado por las deducciones obtenidas después de los ensayos llevados a cabo sobre los modelos expuestos en capítulos anteriores. Se presentará un modelo integral que nos facilite una publicación precisa de los documentos gráficos y no gráficos (provenientes de base de datos), además de permitir interoperacionalizar la información entre los agentes intervinientes para que la propuesta sea verdaderamente eficiente en los trabajos de intervención en el patrimonio histórico.





Capítulo 6

ANÁLISIS DE APLICACIONES Y EQUIPOS adecuados para el desarrollo del trabajo

6. ANÁLISIS DE APLICACIONES Y EQUIPOS adecuados para el desarrollo del trabajo

Este capítulo viene a realizar un recorrido por los equipos (hardware) y aplicaciones (software) más idóneos que nos ofrece actualmente el mercado para emplearlos en el estudio de las características geométricas del patrimonio construido y su implementación en los modelos de información bajo el término de BIM. Los recursos aquí expuestos han sido en su mayoría probados y contrastados en los modelos formulados para sacar una valoración crítica y a la vez positiva, aunque incorporamos otros que son productos muy recientes y están en fase de experimentación y expansión en el área del levantamiento y la representación gráfica de la edificación, pero que por sus innovadoras aportaciones a la mejora de las técnicas merecen que sean considerados en el estudio.

Este análisis no pretende menospreciar un recurso respecto a su competidor, sino enfatizar sus mejores virtudes para conseguir resultados satisfactorios y de manera eficaz. Estamos convencidos de que la mejor y más acertada valoración que podemos darle a un software o equipo es después de haberle sacado el máximo rendimiento dentro de sus potencialidades, como tener una experiencia contrastada en trabajos anteriores que permitan esquivar puntos beligerantes y facilitar el mejor empleo de las técnicas. Si los resultados obtenidos cumplen con los objetivos marcados al inicio de nuestra investigación, podemos concluir que las instrumentos utilizados para dicho fin han sido los más efectivos.

Expondremos los criterios tomados para la selección de los recursos y exhibiremos sus características después de una evaluación específica desde cada área. Englobará tanto los ofertados por los fabricantes de aplicaciones BIM, como los equipos y softwares que van a realizar labores de apoyo a la confección del modelo de información: técnicas de levantamiento por escaneado láser o empleando un escáner óptico 3D, por fotogrametría, aplicaciones para la manipulación de la imagen y otras específicas para la incorporación de los datos del escaneo o nube de puntos en los proyectos BIM.

6.1. El software de modelado BIM ArchiCAD

El software de Graphisoft que opera bajo el término actual de Building Information Modeling[109], ArchiCAD, lo llevamos utilizando desde hace más de diez años como una herramienta muy potente y eficaz en la elaboración de la maqueta arquitectónica virtual. Como programa de modelado enfocado a la construcción dispone de una paleta con herramientas de diseño que nos facilita la incorporación de elementos básicos de cualquier edificio (muro, pilar, forjado, cubierta) y agregar objetos flexibles con la posibilidad de variar sus parámetros

[109] Graphisoft ha sido siempre un proveedor de software que ha ofrecido al diseñador soluciones basada en el Edificio Virtual™ (Virtual Building Solutions), actualmente generalizado con el término de BIM.

dimensionales: puerta, ventana, claraboya y una infinidad de objetos decorativos para el ornamento arquitectónico y la decoración exterior e interior.

Poco a poco nos hemos ido introduciendo más a fondo en las demás posibilidades que nos ofrecía la aplicación, más allá de su poder infográfico, hasta descubrir su destreza para crear bases de datos de propiedades de los elementos intervinientes en la maqueta: parámetros geométricos, áreas y volúmenes de recintos, y propiedades físicas de los materiales asociados.

En el Trabajo final del *máster en arquitectura y patrimonio arquitectónico* se experimentó con el modelo de la Cárcel de la Real Fábrica de Tabacos de Sevilla empleando ArchiCAD. Ésta aplicación constituyó el núcleo principal en la creación de la maqueta virtual a partir de los elementos *paramétricos* introducidos, proporcionando la documentación gráfica correspondiente: plantas, alzados, secciones, vistas axonométricas y secciones 3D en diferentes fases constructivas. Posteriormente, una vez identificado los elementos por su categoría constructiva, su edad dependiendo de posteriores intervenciones y el estado de conservación de los mismos, se generó una base de datos *eficiente* para su exploración por los demás agentes intervinientes en un edificio histórico, los cuales se encargarían de desarrollar los temas específicos dentro del proyecto patrimonial.

Los capítulos de estructura, instalaciones, mediciones de las unidades de obra, evaluación energética y el prolongado mantenimiento, son habituales en edificios de obra nueva o que necesitan de una renovación para adaptarse a nuevas normativas buscando una mayor eficiencia. En el campo patrimonial, como se ha expuesto en el estado de la cuestión, la dificultad de gestionar la información se amplifica al incorporarse disciplinas mucho más disímiles dando lugar, por lo general, a un proyecto mucho más complejo. Es ahora, con el desarrollo el proyecto de la Tesis, cuando pretendemos profundidad en esta área retomando el trabajo ya iniciado anteriormente, aplicando los conocimientos y aptitudes adquiridas en la aplicabilidad de los modelos de información a casos reales y siempre buscando la mejor implementación del BIM patrimonial, que hemos denominado proyecto HBIM.

6.1.1. Dibujar con objetos paramétricos

Ya hemos expuesto anteriormente el gran beneficio que nos aporta el diseñar con un software que emplea elementos 3D que incorporan parámetros dimensionales, de identificación, de funcionalidad constructiva y otros, no menos importantes, referentes a sus propiedades físicas: coeficientes de transmisión térmica, densidad y capacidad calorífica[110].

[110] La versión 17 de ArchiCAD lleva incorporado los nuevos materiales de construcción, que asegura la correcta representación gráfica de los compuestos en intersecciones (prioridades para la unión efectiva de tramas de corte entre forjados, cubiertas y muros), la visualización 3D de las texturas en las superficies de los elementos y la incorporación de las propiedades térmicas necesarias para la evaluación energética del edificio.

Los elementos constructivos de ArchiCAD son el equivalente virtual de los actuales componentes constructivos tridimensionales: *muro, pilar, viga, forjado, escalera, cubierta, estructura compleja* (bóveda). Y otras más específicas para un modelado más autónomo: *malla*, indicada para modelar el terreno o las alteraciones o pliegues en paramentos; *muro cortina,* para el diseño personalizado de fachadas que empleen este sistema; y la herramienta *forma,* con la que podremos obstar a un diseño más flexible por disponer de un asistente de edición muy potente con muy pocas limitaciones. Cada uno de estos elementos dispone de una herramienta específica en la *Paleta de Herramientas* (sección de *diseño*).

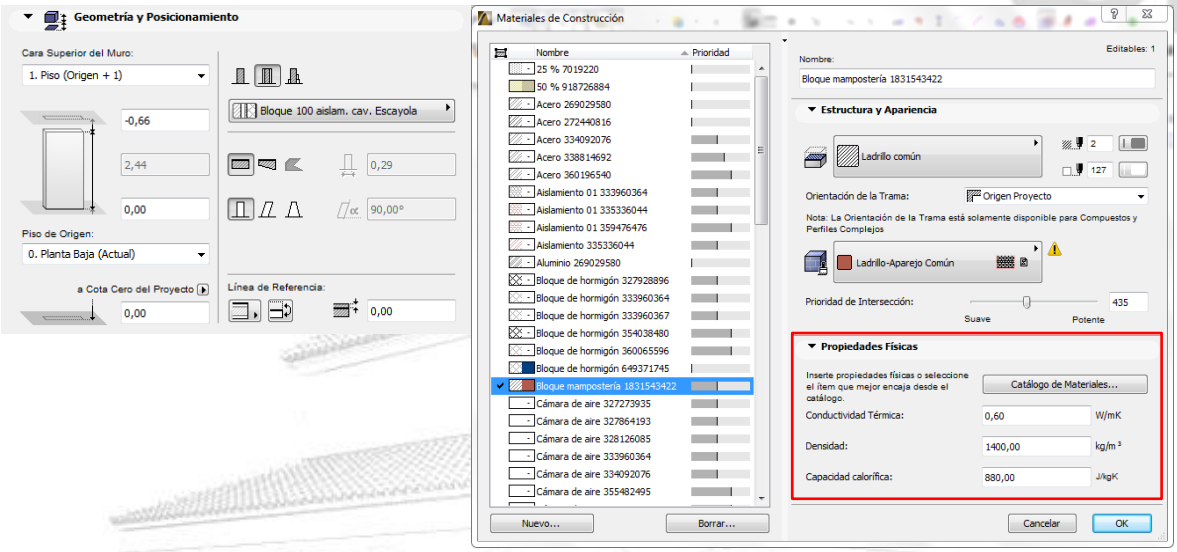


Fig. 120. a) Panel de Geometría y Posicionamiento de Muros en ArchiCAD. b) Base de Materiales de Construcción para asociarlos a las tramas de los muros, incorporando las propiedades físicas: conductividad térmica, densidad y capacidad calorífica.

Otros softwares BIM, como Allplan de Nemetschek y Revit de Autodesk[111], también emplean objetos tridimensionales asociados a elementos o sistemas constructivos. Pero no pretendemos aquí analizar y promulgar la metodología empleada para el uso de estas herramientas de diseño para la construcción, sino enfatizar las otras funcionalidades más específicas que aportan el BIM y que nos favorecen considerablemente para emplearlas en un proyecto de intervención en edificios históricos[112].

Siendo ArchiCAD la aplicación BIM utilizada para confeccionar los modelos de información con los que experimentaremos en la Tesis, nos centraremos en este capítulo en analizar las herramientas de diseño, sistemas de colaboración y otros asistentes organizativos ofrecidos por el mismo software que nos han ayudado a gestionar los datos necesarios para la intervención de las diferentes disciplinas, de manera coordinada y eficiente, en un edificio con valores patrimoniales.

[111] Revit también emplea de objetos clasificados según categorías, denominadas *Familias*.
[112] En la tésis doctoral de Eloi Coloma (2012), hace un análisis muy interesante de las aplicaciones BIM difundidas en España, aunque se centra en ArchiCAD y Revit para contrastar la funcionalidad de ambas.

6.1.1.1. Los objetos de construcción básicos

➢ Herramienta Muro

Esta herramienta básica nos permite dibujar muros que son rectos, curvos, trapezoidales y poligonales. La estructura del *muro* puede ser básica (de un solo componente) o compuesta (de varios componentes). Aunque también puede establecerse muros *complejos* al asociarle un *perfil* personalizado y con una composición de varios componentes. Los objetos paramétricos del tipo *puerta* y *ventana* se insertarán en muros, asociándose a ellos (si el muro desaparece, el objeto también con él). Pero como elemento de construcción, actualmente la estructura esencial de un muro deriva de su material de construcción. Esto nos hace reafirmar que el uso de esa herramienta sobrepasa la representación gráfica tradicional, equiparándose a una simulación del proceso constructivo que hay que ensayar antes de ponerlo al servicio de la sociedad.

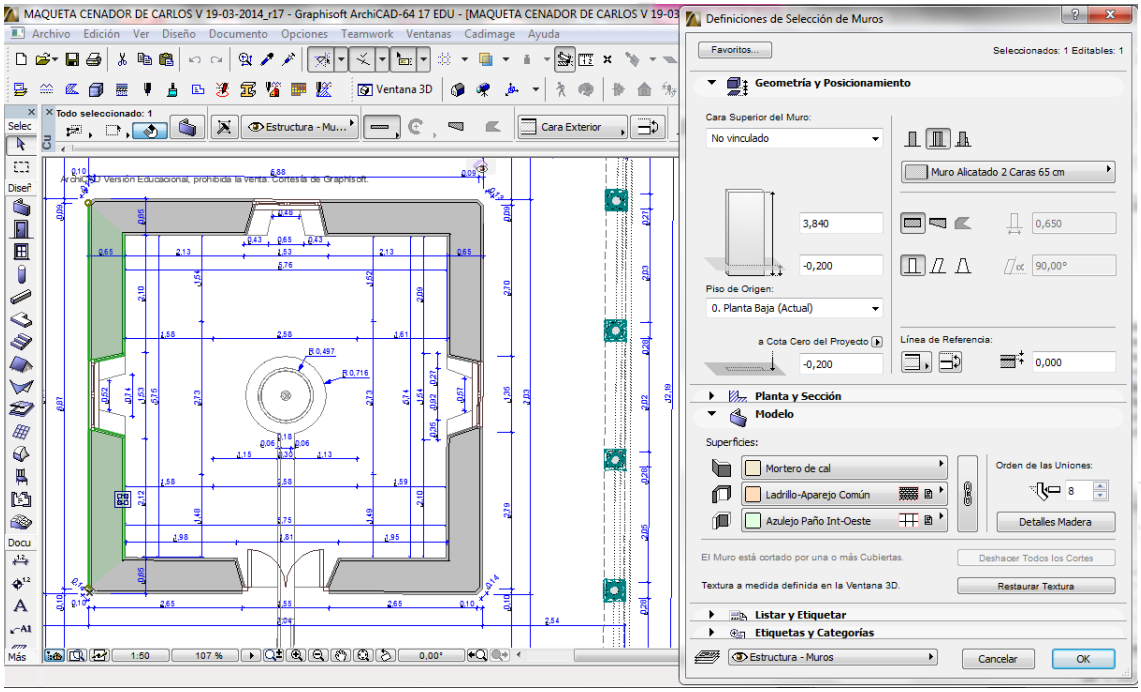


Fig. 121. Ventana de Definición de parámetros del Muro, para la creación de los cerramientos del Cenador de Carlos V (seleccionado en verde en el interfaz de ArchiCAD).

➢ Herramienta Pilar

Como su nombre indica, nos permite introducir pilares referenciándose a un piso de trabajo (nivel + /-) o al origen del proyecto (nivel 0.00). Aunque desde la última versión también puede vincularse por la parte superior a cualquier piso que esté por encima en el proyecto, al igual que muro, forjado y viga. La sección del *pilar* puede ser rectangular, circular o utilizar un *perfil* complejo, del mismo modo que el muro. Su estructura la compone dos elementos: el núcleo y la envolvente (como revestimiento del pilar). El núcleo y el envolvente tendrán sus propios materiales de construcción, prioridades de intersección y otros atributos independientes.

➢ Herramienta Forjado

Se emplea para introducir elementos horizontales básicos: suelos, techos o cubiertas planas. Estarán también vinculados a los niveles o pisos del proyecto, a su cara superior (por defecto) o a su base. Al igual que otros elementos de construcción, la estructura del Forjado emana de su material de construcción.

Los atributos de la representación del *forjado* se precisan en el cuadro de diálogo de *Definiciones de Forjados*. Aunque sus superficies (caras) se definen como parte de su material de construcción, se puede sobreescribir cada una de ellas (superior, inferior y lateral) en la sección *Modelo* de Definiciones de Forjados.

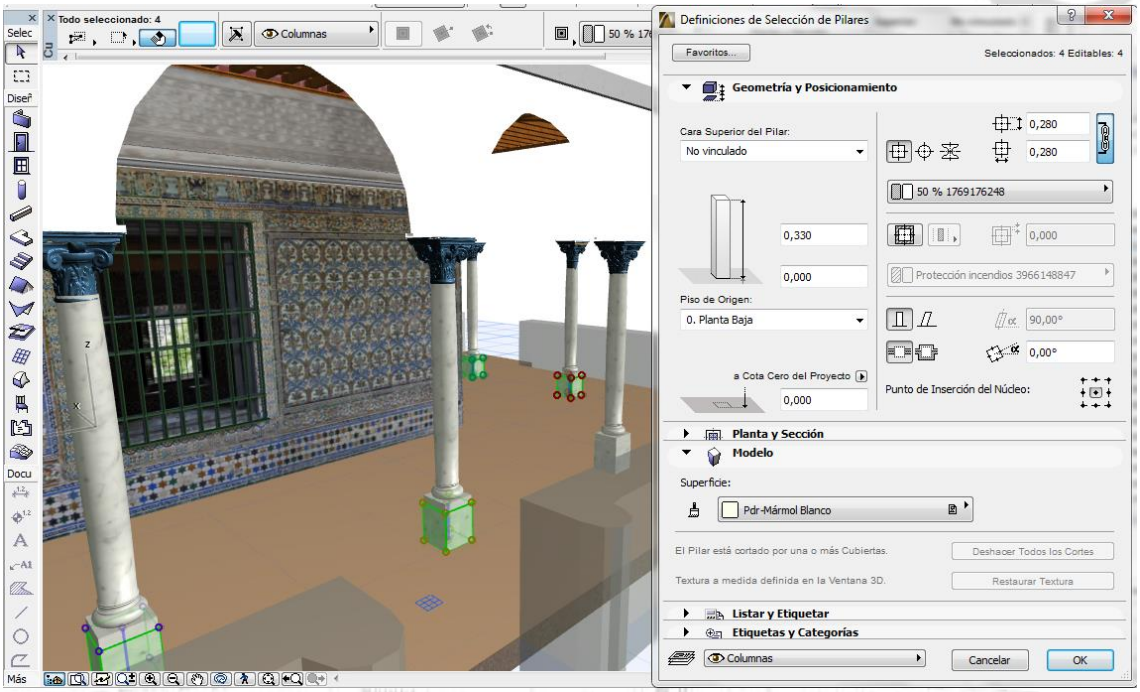


Fig. 122. Ventana de Definición de parámetros del Pilar, para la creación de los poyetes de las columnas en las cuatro logias del Cenador de Carlos V (seleccionados en verde en el interfaz de ArchiCAD).

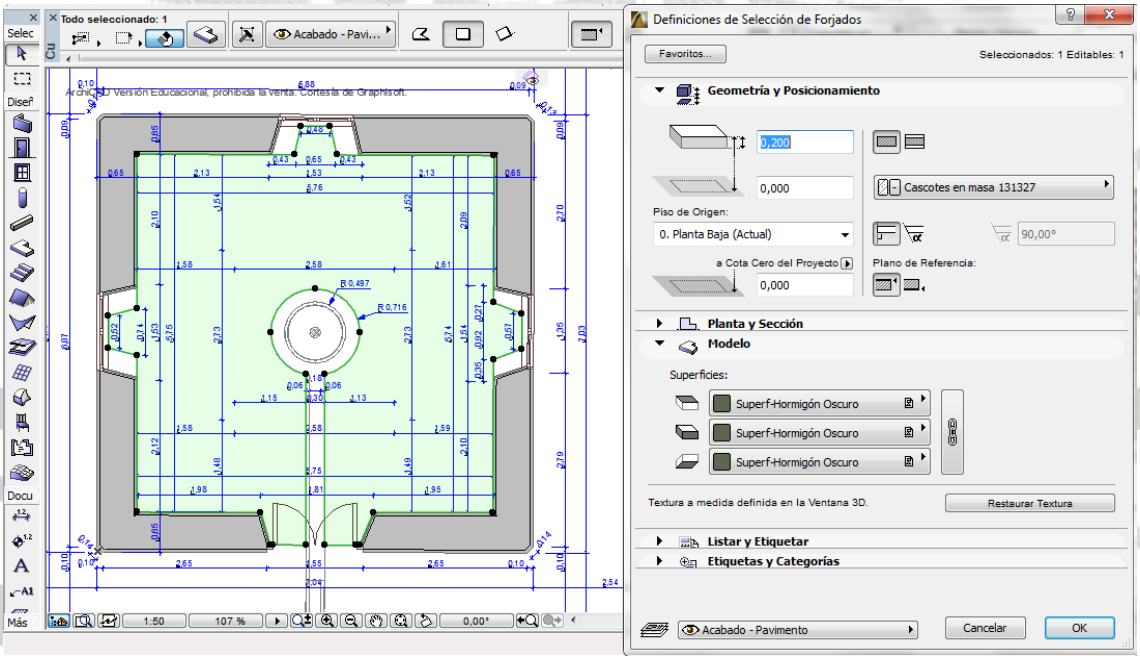


Fig. 123. Ventana de Definición de parámetros del Forjado, para la creación de la base del pavimento interior del Cenador de Carlos V (seleccionado en verde en el interfaz de ArchiCAD).

➢ Herramienta Viga

La *viga* opera de la misma manera que el *forjado* de ArchiCAD, con la diferencia que además puede introducirse inclinada (con caras finales verticales). Se le puede asociar una sección rectangular, circular o un *perfil* complejo. Su estructura también dependerá básicamente del material de construcción asignado.

➢ Elementos de Perfil Complejo

Aunque ArchiCAD nos proporciona las herramientas para modelar elementos básicos en cualquier sistema constructivo *estándar,* es habitual que tengamos que recurrir a la personalización de aquellos para acomodarlo al diseño arquitectónico; o para el caso de un edificio patrimonial, a las peculiaridades de la pieza o del elemento decorativo con un estilo propio de la etapa histórica. Podremos en estos casos colocar un *muro, pilar o viga* personalizado al asignarle un *perfil* como sección de su contorno.

Un elemento de perfil complejo está compuesto de un perfil de sección que es extruido perpendicularmente al perfil del plano. Para colocar el elemento complejo, se puede utilizar un perfil predefinido para ser modificado o crear uno nuevo.

Esta herramienta ha sido muy empleada en los modelos BIM expuestos en el capítulo 8, para modelar molduras, impostas, cornisas y demás elementos decorativos que incorpora su arquitectura. Cada perfil de sección creado se ha asociado a un elemento de ArchiCAD, eligiendo el tipo adecuado por su función en el sistema constructivo.

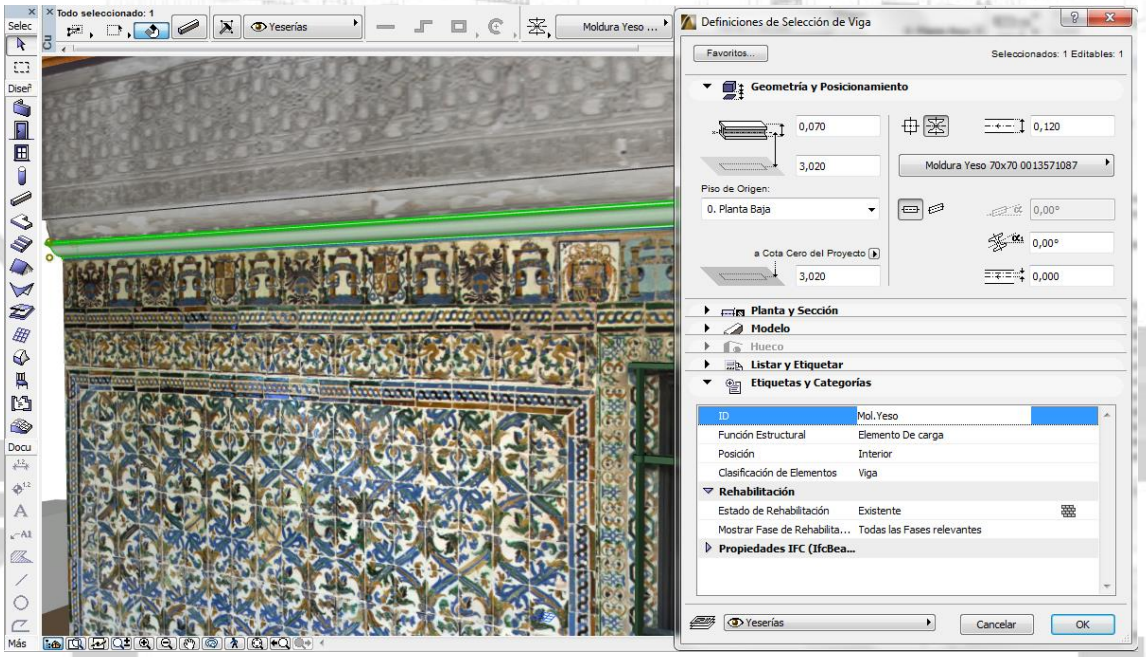


Fig. 124. Ventana de Definición de parámetros de Viga, con perfil complejo para la creación de la moldura de yeso (seleccionada en verde en el interfaz de ArchiCAD).

6.1.1.2. Las herramientas específicas para el modelado en ArchiCAD

6.1.1.2.1. La herramienta Malla

A diferencia de las herramientas anteriores, las mallas están pensadas para establecer superficies con formas complejas o con resaltes aleatorios. Aunque se incorporen al principio en el modelo como una superficie con coordenada "z" constante, podemos después crearle elevaciones (cotas +) u hundimientos (cotas -) al definir una altura a sus puntos característicos e interpolando entre ellos.

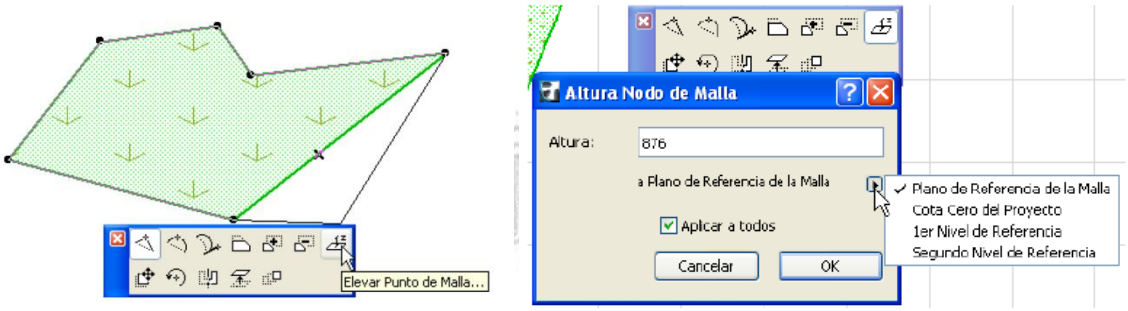


Fig. 125. a) Edición de la malla para introducir un valor de altura; b) Al marcar Aplicar a Todos se ajustarán todos los puntos de la malla. Cambiar la altura de un único nodo no afectará a la altura de los nodos vecinos.

En la ventana de Planta quedarán visibles las líneas del contorno y las líneas de los cambios de nivel de las Mallas. Pero en las secciones o en la vista 3D, dependiendo del método de construcción elegido en el cuadro de diálogo de Definiciones de Malla, obtendremos mallas creadas como una única superficie, mallas creadas con lados verticales (Faldón) o mallas creadas como cuerpos sólidos. En el Cenador de Carlos V fue empleada en los pavimentos como elementos sólidos, facilitándonos introducir las pendientes con sólo elevar sus nodos en esquinas.

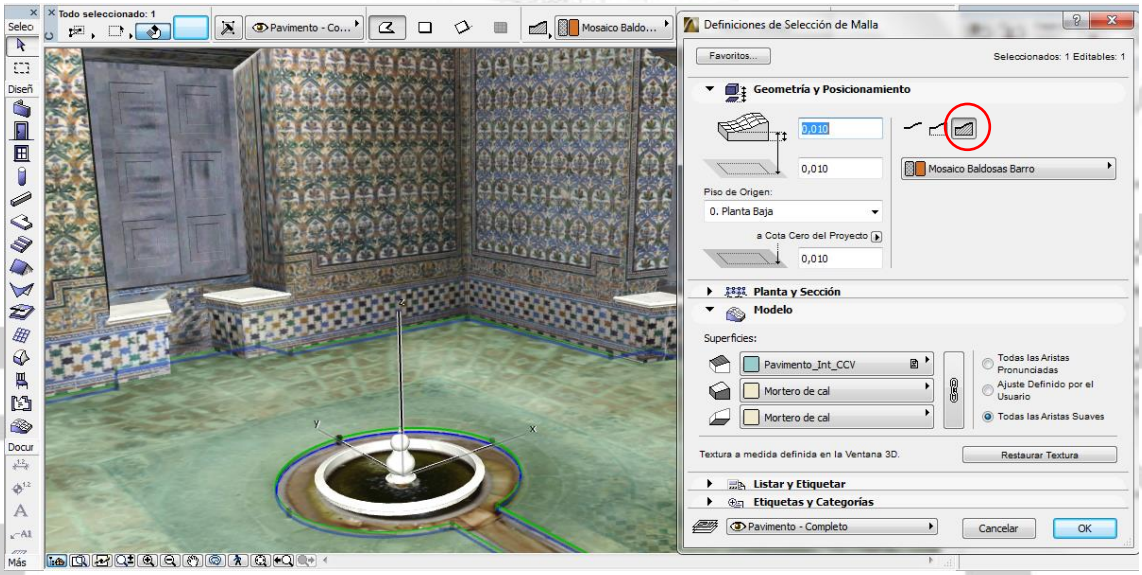


Fig. 126. El Dialogo de Definiciones de Malla muestra la geometría (1cm de espesor base para el pavimento), al igual que las superficies asignadas a sus caras en la vista 3D (apartado Modelo). Cenador de Carlos V.

Al igual que los anteriores elementos básicos, a la malla se le constituye la estructura derivada de su material de construcción.

6.1.1.2.2. La herramienta Forma

En comparación con los elementos de construcción básicos, la *forma* tiene menos limitaciones a la hora de crear geometrías orgánicas y deformes: todos los bordes y todas las superficies pueden desplazarse y modificarse en cualquier dirección, siendo más fácil crear modelado precisos e incorporarlos a nuestro proyecto.

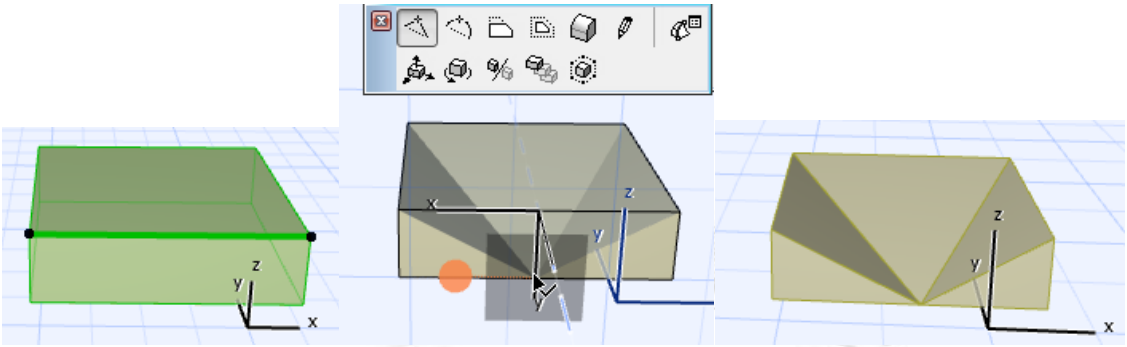


Fig. 127. a) Activación de la paleta flotante al seleccionar el borde de la Forma; b) Elección de la función *Añadir Nodo a Forma*; c) El nodo y las caras (con los bordes conectados) se moverán a lo largo del plano de edición.

Otra de las ventajas de trabajar con la nueva herramienta es que puede estar formada por uno o más sub-elementos: estos pueden incluir caras y/o bordes. Además, cualquier forma creada y seleccionada puede ser después editada como un único elemento completo, contenedor de varios sub-elementos, o bien editar cada uno de ellos por separado o en combinación de varios.

➢ Creación de Formas

Una novedad adicional a los métodos de inserción habituales, es que el comando *Convertir Selección en Forma* permite la rápida creación de una forma a partir de elementos existentes, teniendo ahora las ventajas añadidas de la nueva herramienta. También con el uso de la *Varita Mágica* se puede crear formas sólo con el toque de cualquier superficie, teniendo seleccionada la herramienta: los muros, pilares, forjados, cubiertas y cualquier malla pasarán a un estadio de mayor libertad en el diseño, con una mutación sorprendente de sus geometrías primitivas. Esta funcionalidad ha sido empleada en los modelos de experimentación.

Con la *forma* además es posible utilizar líneas y planos en la creación de diseños dentro de la ventana 3D, algo que no es posible con los elementos de construcción básicos. Esta funcionalidad nos permite crear bocetos a mano alzada, por lo que la hemos aplicado a la hora de contornear sectores para identificar unidades estratigráficas en la lectura de paramentos. Como también fue útil en la restauración de paños de azulejos y fábricas murarias para clasificar

tipologías de piezas o aparejos, utilizando de fondo una ortofoto mapeada en el elemento *forma*.

➢ Edición básica de Formas

Una manera fácil para comenzar a diseñar con esta herramienta es colocar una *forma* estándar y, a continuación, editarla gráficamente para darle su carácter definitivo. Las opciones de edición de la paleta flotante son innumerables, utilizándose en la ventana 3D (algo que es fundamental para optimizar el trabajo de modelado): Empujar-Tirar (Fig. 11); Saliente; Añadir; Tubo; Definiciones de Cara Personalizadas; Tipo de Borde: Duro, Oculto, Suave; Desplazar Borde de Forma; Desplazar todos los lados; Borde curvo; Desplazar sub-elemento de Forma; Añadir Nodo a Forma; Redondeo/Chaflán de una Forma; Resolución personalizada para Redondeo[113].

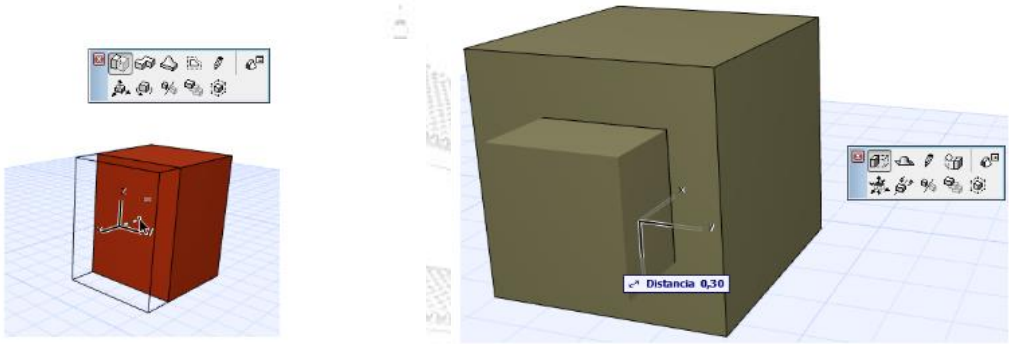
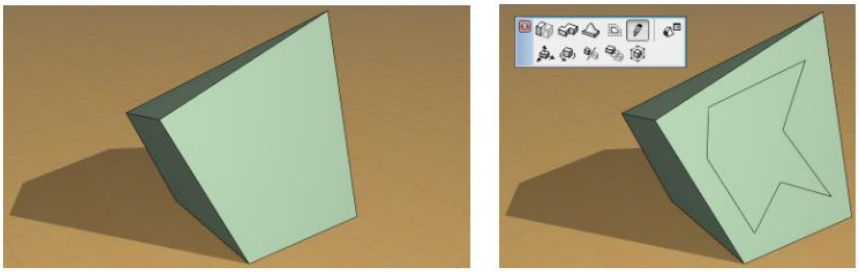


Fig. 128. La función *Empujar-Tirar* de Forma permite arrastrar la cara para ampliar la geometría de Forma en perpendicular a la cara en la que ha hecho clic: Tirar para ampliarla y empuje para comprimirla.



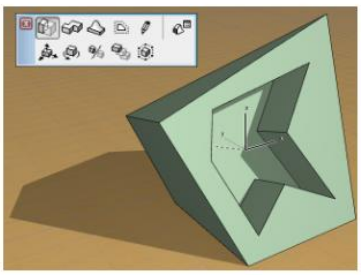


Fig. 129. Crear un Hueco en Forma. Se utiliza la función Empujar-Tirar para empujar el sub-elemento en la Forma. Este método funciona si se empuja una Forma o sub-elemento de la misma hasta otra, siempre y cuando ambos bordes de la Forma "receptora" sean caras paralelas.

Esta libertad en el diseño nos facilitará reproducir piezas arquitectónicas con geometrías complejas o modelar fábricas de ladrillos, sillares o mamposterías

113 Más información de la herramienta Forma de ArchiCAD en el navegador: file:///C:/Program%20Files/Graphisoft/ArchiCAD%2017/Ayuda/Files/wwhelp/wwhimpl/js/html/wwhelp.htm#href=03_Virtual%20Building.06.295.html

diversas, siempre buscando una representación lo más fiel de la técnica constructiva empleada en una etapa temporal en la evolución del edificio histórico.

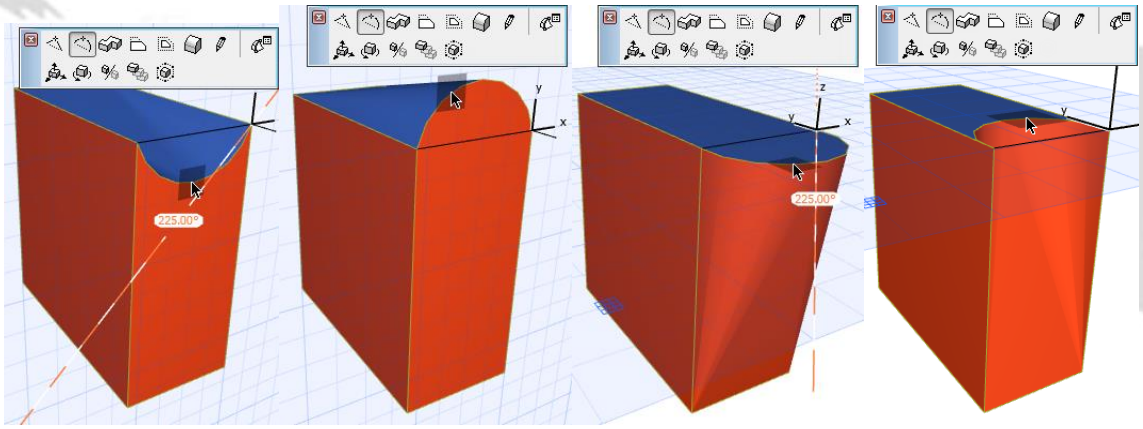


Fig. 130. Función *Borde Curvo*: a) Seleccionar la *forma* y hacer clic en el borde que se desea curvar para que aparezca la paleta flotante: elegir "Borde curvo."; b) Arrastrar el cursor o escoger otro plano; c) El borde clicado y la cara adyacente se curvarán a lo largo del plano escogido; d) En un Plano de Edición distinto.

➢ Suavizado de Formas

Las superficies que definen las caras de la Forma se pueden editar, transformándose sus múltiples segmentos de manera automática, y obtener superficies curvadas suavizadas. Además, existen varios comandos que nos permiten convertir la Forma con un solo clic, suavizando o subdividiendo los sub-elementos, y también nos ofrecen un control determinado sobre el mecanismo de suavizado. Las opciones disponibles nos permitirá: Suavizar y Combinar Caras; Curvar y Combinar Aristas y Modificar Segmentación.

- Suavizar y Combinar Caras

1. Suavizar una Forma hueca, es decir, no sólida. En el caso que la Forma no sólida tenga contornos o bordes que no colindan con ninguna cara, se puede elegir entre las siguientes opciones:

a. *Contornos suavizados*, con la que los bordes de enlace del/de los elemento(s) o sub-elemento(s) seleccionado(s) formarán todos parte del suavizado.

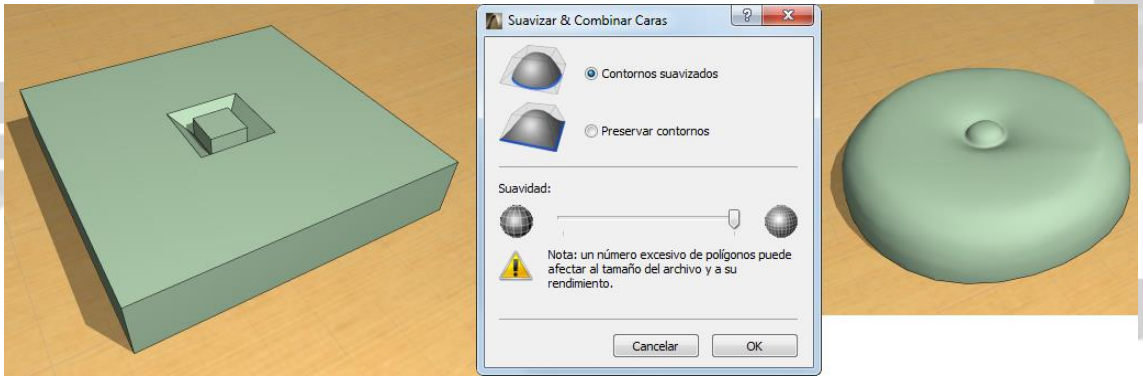


Fig. 131. Efecto de la función Suavizar & Combinar Caras en una Forma hueca, activando contornos suavizados.

b. *Preservar contornos*, donde los bordes de enlace del/de los elemento(s) o sub-elemento(s) seleccionado(s) se mantendrá(n) intactos, suavizándose solo las partes internas[114].

Fig. 132. Efecto de la función Suavizar & Combinar Caras en una Forma hueca, preservando contornos.

2. <u>Suavizar una Forma sólida.</u> En estos casos la Forma no tiene contornos de borde libres, de manera que todas las partes seleccionadas formarán parte de la subdivisión:

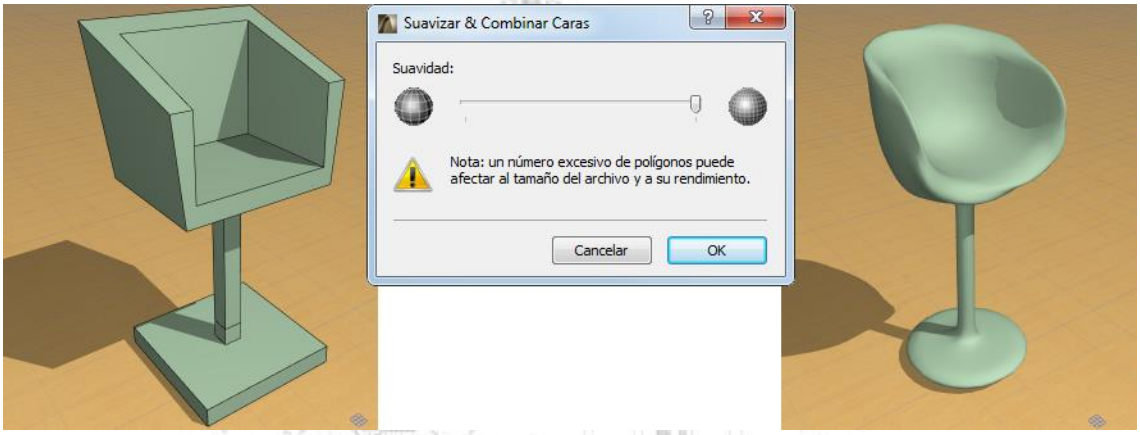


Fig. 133. Efecto de la función Suavizar & Combinar Caras en una Forma sólida.

- Curvar & Combinar Aristas

Este comando nos permite segmentar uno o más bordes rectos de una Forma para crear un efecto curvado más suave.

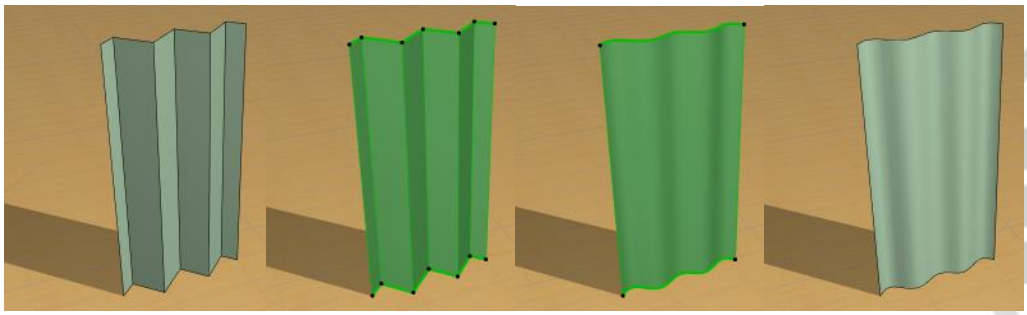


Fig. 134. Transformación de las aristas de una forma en curvos con Curvar & Combinar Aristas. Con la opción Modificar Segmentación se podrá corregir el suavizado del borde seleccionado dentro de una sola Forma.

[114] Un nivel de triangulación (subdivisión) elevado en el ajuste del suavizado puede derivar en un alto recuento de polígonos que puede afectar al tamaño del modelo y al rendimiento de ArchiCAD.

- Combinar Caras de Forma para crear Bordes "suaves"

La edición de formas conlleva la selección de sus sub-elementos (bordes, nodos o caras), operación que afectará a las caras conectadas a los mismos. Al modificar la forma, las caras conectadas, unidas por defecto por un borde *duro*, se comportan como unidades independientes, y mantienen sus propias geometrías.

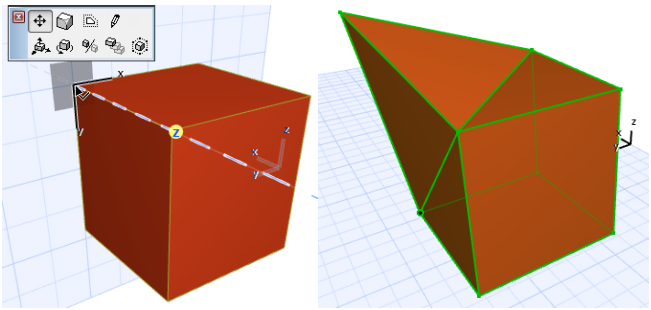


Fig. 135. Modificación de una forma con aristas o bordes "duros"

En cambio, si deseamos que las caras conectadas se transformen con suavidad, hay que proceder a cambiar las definiciones de las aristas seleccionadas, pasando de borde *duro* (opción predeterminada) a *suave* (Fig. 135.a). Ahora, las caras conectadas por un borde blando se comportan como una sola superficie en las operaciones de edición de formas, y el algoritmo de suavizado se les aplica como un todo, lo que da lugar a un resultado de edición distinto (Fig. 135.b; c).

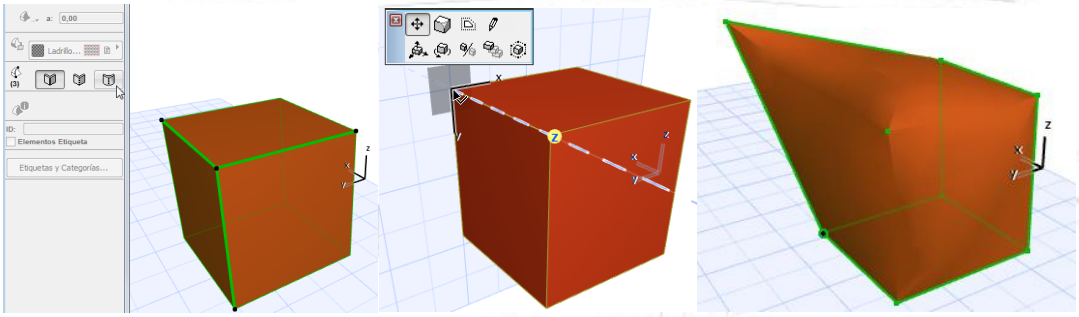


Fig. 136. a) Cambio de los bordes "duros" a suaves de la forma seleccionada con el icono Suave del Cuadro Información; b) bordes transformados en suave; c) Nuevos efectos en la forma.

Estas operaciones nos serán muy útiles a la hora de modelar con precisión y de manera muy flexible las piezas halladas en una intervención arqueológica; como por ejemplo, definir las caras de los sillares de piedra de un paramento picado.

- Cubrir con Caras

Este comando permite cubrir con caras una Forma poligonal cerrada (aunque también se puede emplear el comando Añadir de la paleta flotante). Lo hemos empleado en el levantamiento del modelo del Cenador para unir los puntos, con diferentes coordenadas espaciales, procedentes del escaneado. De este modo, pudimos crear polígonos que después se cubrieron por superficies nacidas principalmente de bordes, rincones, o cambios en la dirección de los planos de la envolvente del edificio.

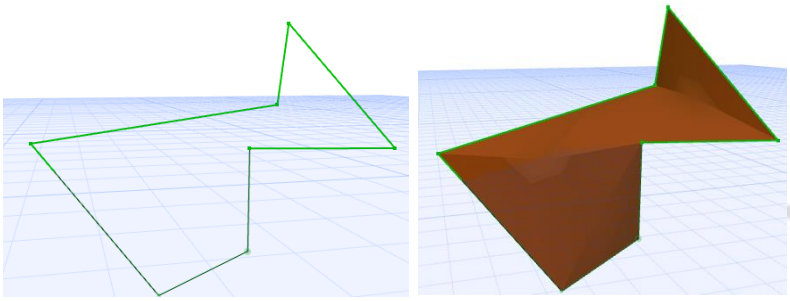


Fig. 137. Forma poligonal cerrada antes y después de ser rellenada con una superficie de varios planos.

- Mapeado de Textura para Caras de Forma

El mapeado de textura se puede asociar por separado a cada cara de la Forma, permitiéndonos incorporar infinidad de mapas en una misma Forma compuesta por multitud de caras. Al utilizar el comando *Alinear Textura 3D* podremos cambiar el origen de la imagen, moviéndola y girándola dentro de la cara editada.

Su aplicación ha sido vital en la fase de mapeado con ortofotos, especialmente aquellas caras que precisan de un *estudio paramental*: tanto por su estado de deterioro, que requiere una intervención urgente por un restaurador (es el caso de los paños de azulejos del Cenador de Carlos V), como para el análisis estratigráfico de los paños descubiertos en el modelo de la Cárcel de la Real Fábrica de Tabacos.

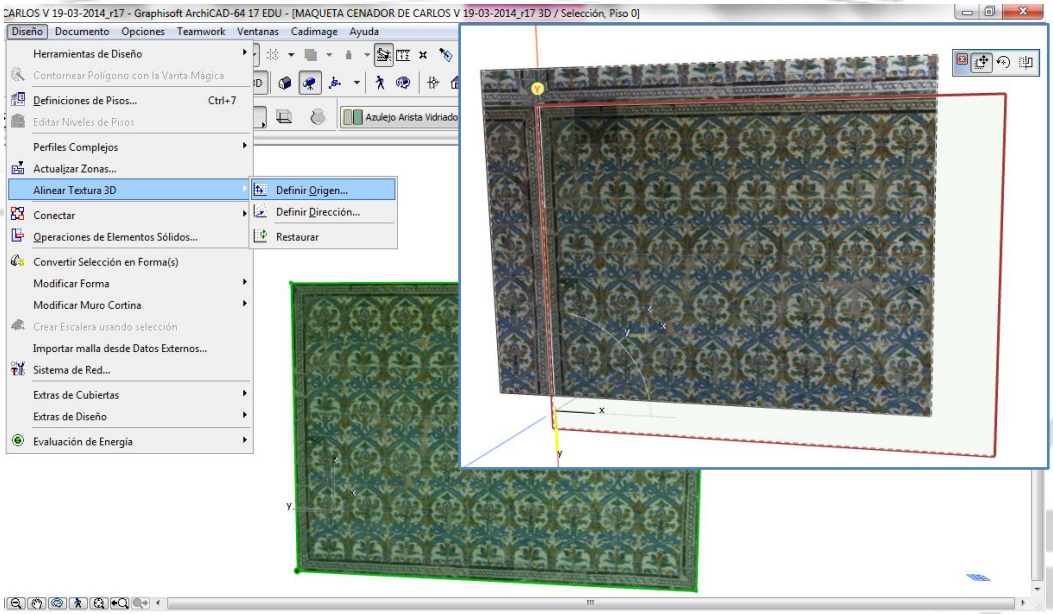


Fig. 138. Al editar la textura aparece un cuadrado de edición (rojo) en la cara de la Forma, que representa una unidad del patrón del mapa. Una paleta flotante incorpora las opciones *Mover* y *Girar*. Paño de azulejos *Az-Od_Cen* de la fachada Oeste del Cenador de Carlos V.

6.1.2. Visualización Parcial de Elementos Compuestos

Desde que se inician las primeras tareas de construcción del modelo el diseñador suele incorporar los elementos completos, es decir, los muros, pilares y forjados incorporarán sus revestimientos ya que se diseña con el objetivo de obtener el modelo final propuesto. También cuando se parte de unas dimensiones tomadas "in situ" procedentes de la fase de levantamiento es normal modelar cada sistema constructivo acabado, coincidiendo con las medidas de referencia, una tarea habitual en representación de edificios preexistentes o con valores históricos.

Fig. 139. Modelo seccionado mostrando todos los elementos completos. 2012. Curso Interoperabilidad. Cfp, Universidad de Sevilla. Elaboración propia.

Pero es frecuente que el arquitecto director deba de transferir información a sus colaboradores, como por ejemplo a un especialista en estructuras, en la que por lo general se prefiere ignorar los elementos sin función estructural. En este caso los revestimientos del modelo completo serán superfluos al exportar el modelo a un software de cálculo.

La manera habitual para la trasferencia de la información precisa del modelo sería ocultando los tabiques interiores sin función de carga al desactivar la capa a la que están asociados –por ej. Capa "Tabiquería interior"- pero para el caso de los muros, techos y pilares con varios componentes y representados por diferentes tramas, no podríamos obstar a un filtrado de información por gestión de capas si queremos visualizar solamente los componentes de carga. Pensemos, por ejemplo, en un techo representado con un espesor de 40 cm, donde solamente 27 cm constituiría el forjado, mientras el resto lo constituyen los revestimientos: 10 cm de solería y 2 cm de yeso o placa de escayola.

Las aplicaciones BIM suelen incorporar un asistente de visualización para gestionar los elementos incorporados en el modelo. ArchiCAD tiene una potente función de Visualización Parcial de los elementos "compuestos" que disponen de varias capas con propiedades físicas propias y funciones diferentes, que le

permite al diseñador visualizar elementos constructivos de diversas maneras, dependiendo de cómo se defina sus componentes. La imagen anterior y que se muestra a continuación están sacadas de un único modelo BIM que reúne elementos compuestos, donde en la primera de ellas se muestra los elementos constructivos con todos sus acabados. Mientras que en la segunda imagen se ha procedido a un filtrado de elementos por categorías de sus componentes, dejando visibles solamente los que asumen una función estructural.

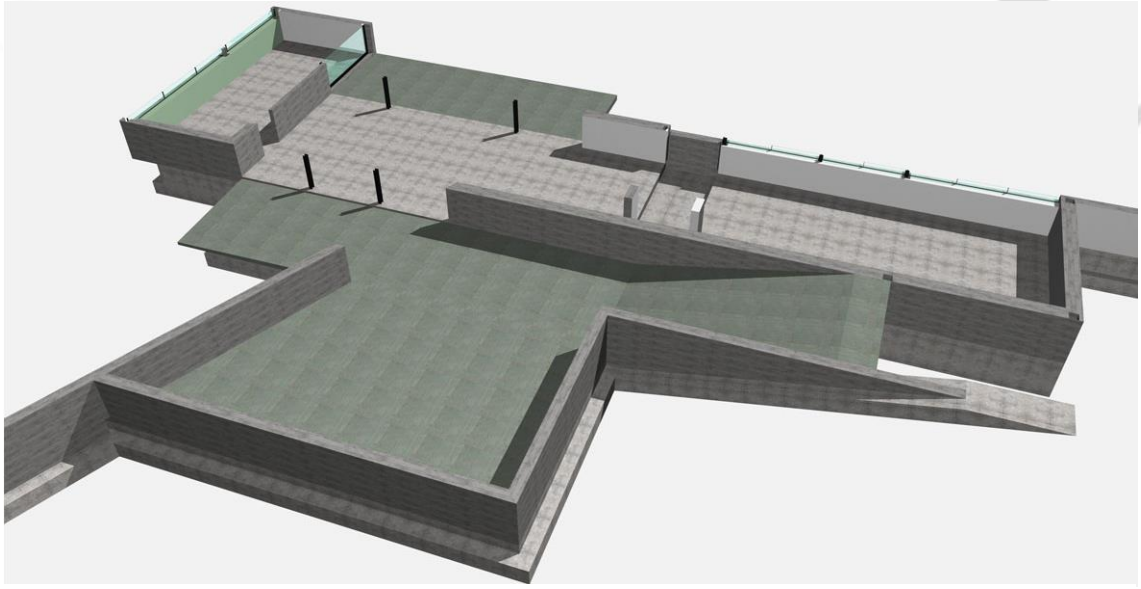
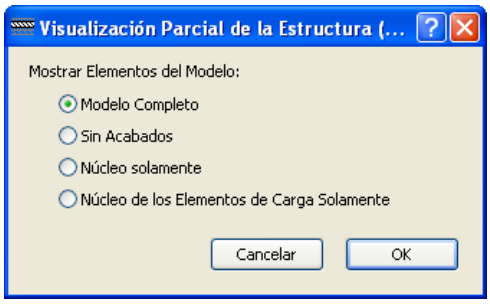


Fig. 140. Modelo seccionado filtrado, mostrando solo los elementos estructurales.

El asistente de Visualización Parcial de la Estructura de ArchiCAD nos ofrece cuatro modos predeterminados para mostrar u ocultar los componentes de los elementos compuestos o estructuras complejas, dependiendo de cómo se hayan definido estos componentes, que se aplicarán a la ventana vigente y posteriormente se podrán guardar en una nueva vista.

En el modo *Modelo Completo* se visualizan todas las partes del modelo.



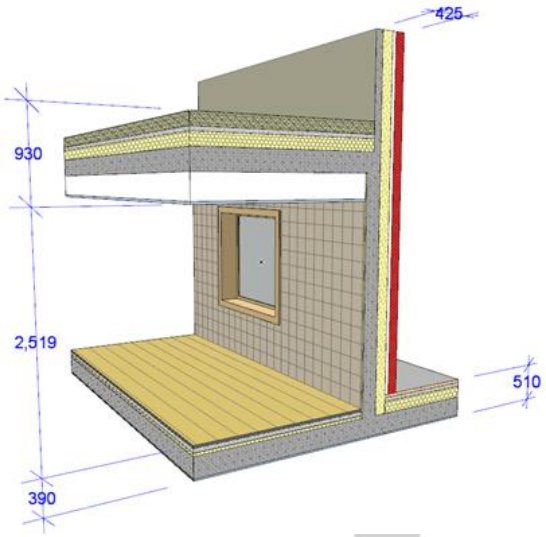


Fig. 141. El modo de Visualización Modelo Completo permite mostrar todas las capas de la estructura del elemento constructivo: muro, forjado, pilar, viga y cubierta.

Con la visualización *Sin Acabados* se visualizará el modelo falto de las capas o componentes definidos como *Acabado* para muros, forjados y cubiertas, y de las envolventes de los pilares definidos de igual modo. En cambio, el modo de visualización *Núcleo solamente* está pensado para mostrar los elementos definidas como *Núcleo* dentro de las estructuras compuestas.

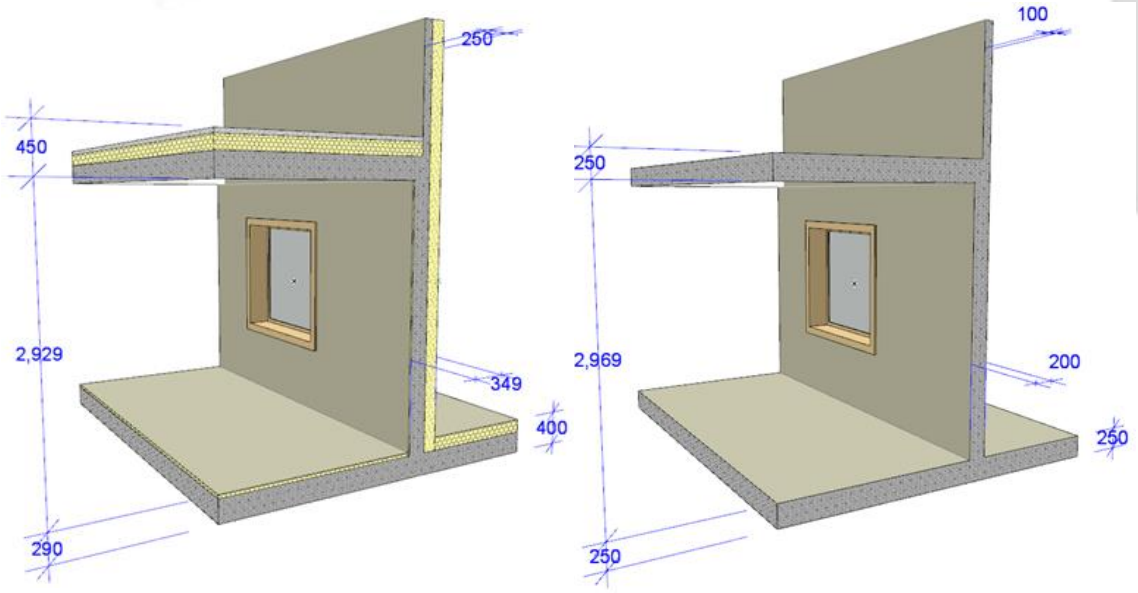


Fig. 142.a) Modo de Visualización *Sin Acabados;* b) Modo de visualización *Núcleo solamente.*

Pero la cuarta opción *Núcleo de los Elementos de Carga Solamente* es muy interesante a la hora de ocultar otros elementos diferentes a compuestos o complejos, y que se hayan clasificado como *sin carga* o *indefinidos*. Quedarán visibles solamente los clasificados como *de carga*.

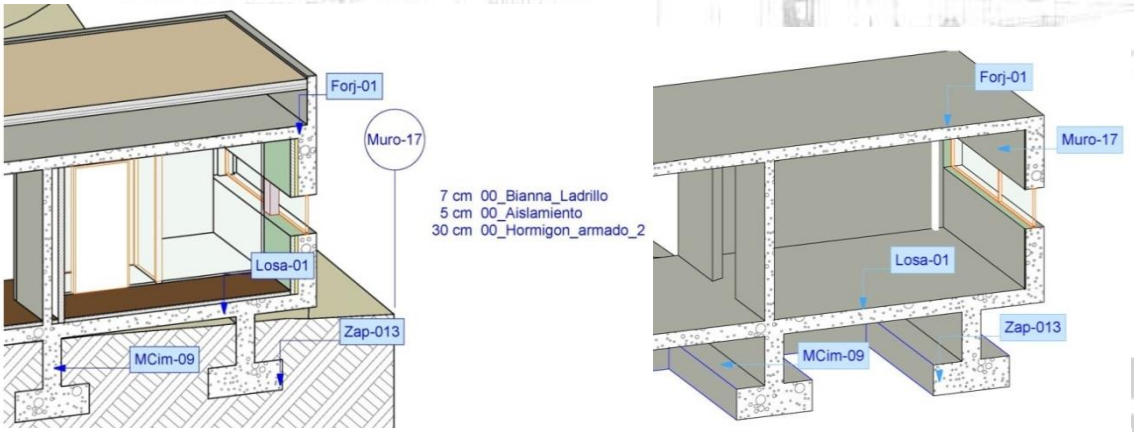


Fig. 143. A) El modelo muestra los elementos con revestimientos. B) El mismo modelo con la visualización de los elementos estructurales. Curso de Interoperabilidad. Cfp Universidad de Sevilla. 2011. Elaboración propia.

6.1.3. El módulo de Rehabilitación y Reformas de ArchiCAD

Para la implementación de las aplicaciones específicas en el campo de la rehabilitación, se ha aplicado al modelo de estudio el módulo de Rehabilitación que incorpora ArchiCAD, totalmente integrado en el Software para formar parte de su sistema de flujo de trabajo BIM nativo.

Los aspectos más destacables se podrían resumir en los siguientes puntos:

- Un Flujo de Trabajo de rehabilitación integrado

  De la misma manera que se apuesta por un modelo BIM integral que soporte todos las categorías de una nueva edificación, en el caso de concebir un proyecto de rehabilitación, los aspectos de las instalaciones MEP (mecánica, electricidad y fontanería), la eficiencia energética y otros específicos del edificio en estudio, seguirán siendo soportados por las aplicaciones específicas para el software BIM, ofreciendo un flujo de trabajo BIM integrado. Además de los cambios en cerramientos y divisorias de estancias, se permitirá la remodelación de los sistemas de conductos y tuberías, cumpliendo con las normas de las directivas energéticas y estándares energéticos vigentes para una arquitectura sostenible.

- Estado del Nivel de Rehabilitación

  Se podrá establecer la fase o el Estado de Rehabilitación en la que se encuentra los elementos BIM afectados, dividiéndose en tres categorías: "Existente," "A ser Demolido" y "Nuevo". Proporcionarán la base para crear las representaciones gráficas necesarias por combinaciones de los elementos que simbolizarán los diferentes estados de un proyecto de Rehabilitación.

- Tipos de Planes de rehabilitación

  Otro de los aspectos a tener en cuenta en este módulo específico de rehabilitación de ArchiCAD es que dispone de unos Planes de rehabilitación preestablecidos y estilos de dibujo que siguen los estándares de CAD y las convenciones documentales del país. Para el caso de normativas más específicas a ámbito regional, al arquitecto se le permite poder crear libremente su propio plan de rehabilitación o estilo gracias a los filtros personalizados.

En el caso de intervenir en el patrimonio arquitectónico, estas aplicaciones contribuirán en gran medida a una mejor gestión de la información, siendo de gran utilidad a los agentes habituales en una rehabilitación convencional: arquitecto, aparejador, ingeniero de edificación, como a otras disciplinas más específicas en el caso de intervenir en un edificio con valores históricos: arqueólogo, historiador y restaurador. Sus principales ventajas podrían quedar compendiadas en los siguientes puntos:

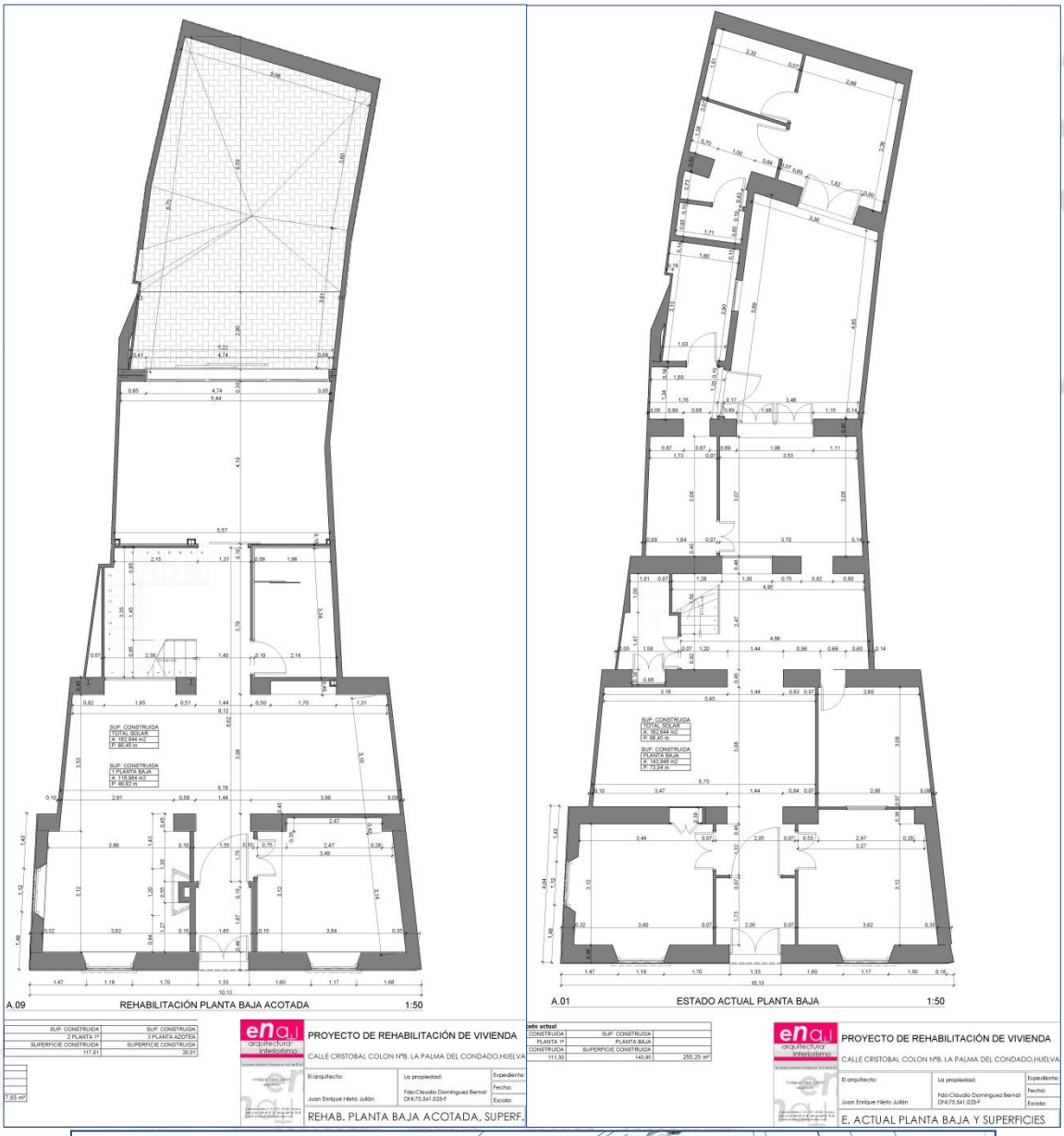
- Nos permitirán gestionar diferentes estadios de las construcciones a lo largo de su dilatada historia, clasificando los elementos por periodos o por el sistema constructivo empleado.
- En una rehabilitación podemos clasificar los elementos constructivos por el estado o la fase de la intervención para una mejor gestión de la información previa a una correcta identificación de unidades de obras y la obtención de la medición real: "Existente" y "Eliminado".
- Y en el caso de una adecuación o ampliación las nuevas incorporaciones quedarán bien identificadas en la documentación gráfica al ser agregadas a un "Nuevo" estado.
- Finalmente podremos obtener listados de los elementos del modelo BIM por estados, incluso si éstos se encuentran afectados en varias fases a la vez, y que servirán para obtener un presupuesto real y eficiente.

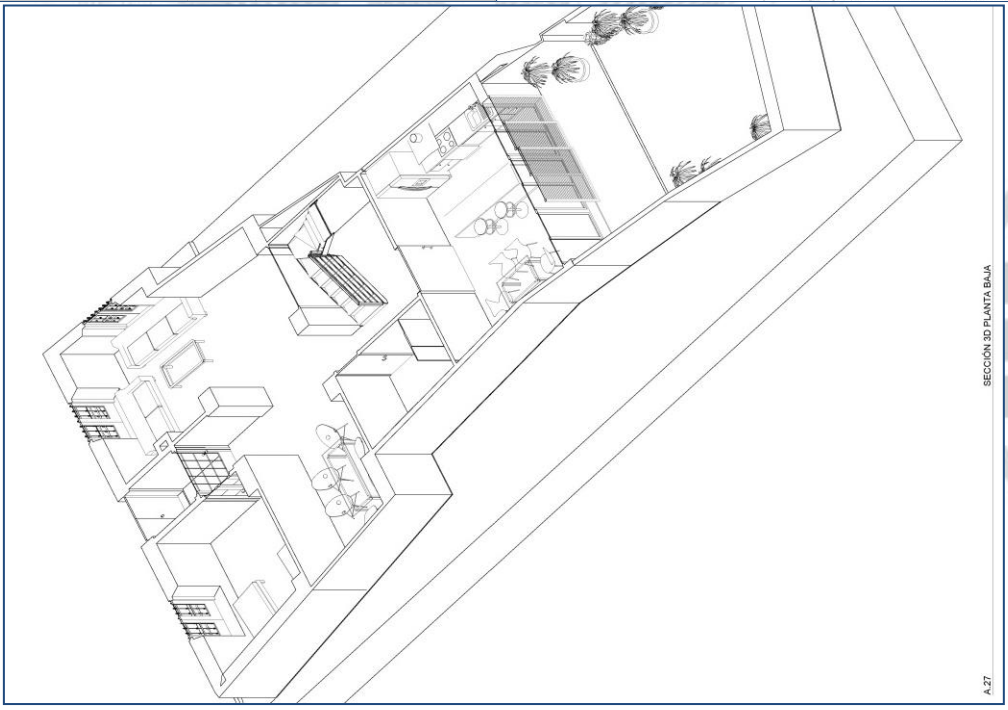
6.1.3.1. El Flujo de trabajo para la Rehabilitación

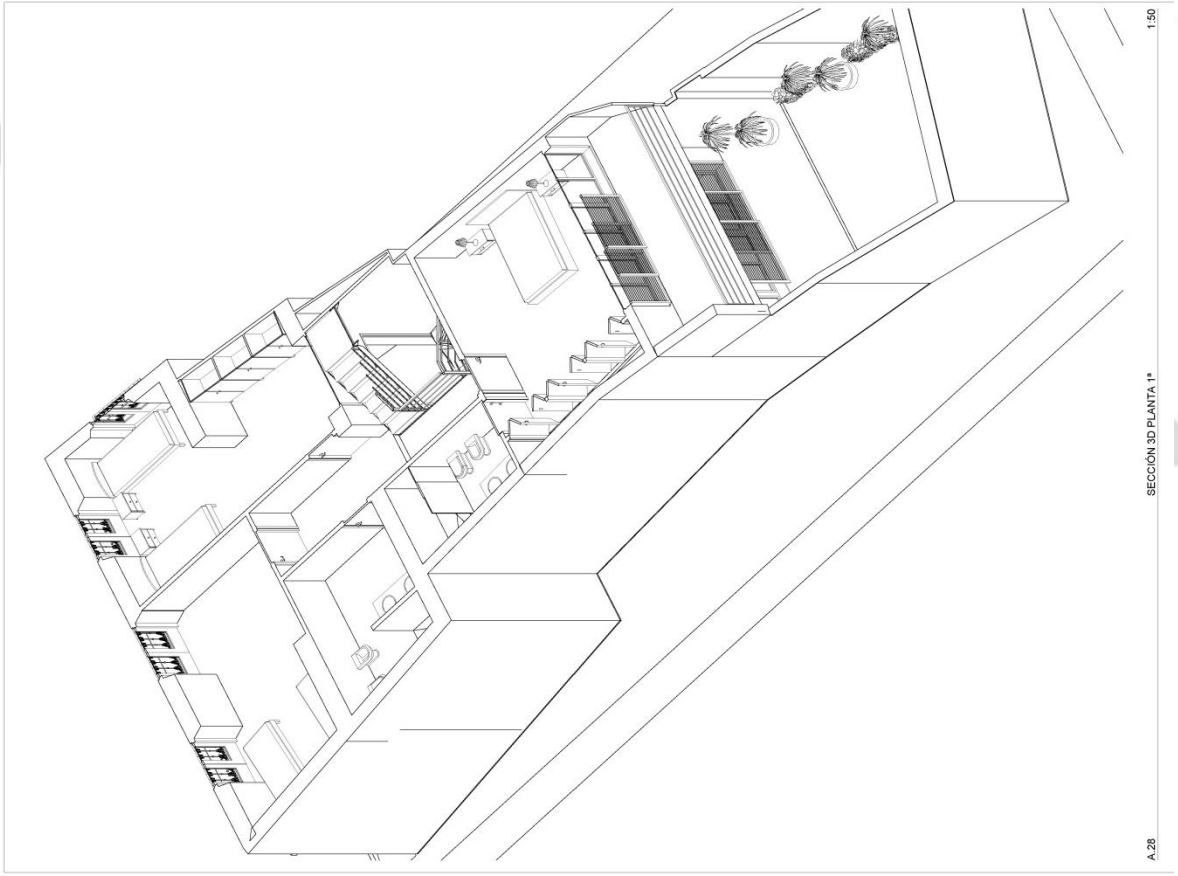
En los procesos de representación de proyectos donde se ha requerido una planimetría organizada por fases evolutivas, iniciada con un levantamiento gráfico basado en la toma de medidas en la etapa de auscultación del edificio, pasando por la fase de vaciado y reorganización de las plantas, hasta la etapa final donde se refleja la nueva distribución o zonas ampliadas, siempre se ha hecho uso de la estructuración y el filtrado de información por capas que nos ha facilitado con carácter de estándar cualquier programa de CAD. Con el cambio a un nuevo concepto de representación gráfica haciendo uso del Edifico Virtual[115] o modelado bajo el sistema BIM, extrapolamos nuestra experiencia anterior (principalmente con el software AutoCAD) a los modelos de información. Esto ha sido de gran utilidad, en proyectos que incorporaban obras de reforma o rehabilitación integral, como procedimiento de gestión de los elementos constructivos para su correcta visualización por etapas evolutivas (Fig. 27).

Elaborar ahora un modelo de información con el sistema BIM se nos hace más fácil empleando aplicaciones específicas, como el asistente de Rehabilitación que incorpora ArchiCAD. Este obedece a una asignación adecuada del Estilo de Rehabilitación a los elementos afectados del modelo, para mostrarlos con distintos filtros de información gráfica configurados para cada etapa del proceso de rehabilitación. Se podrá diferenciar la información gráfica de las Fases de Rehabilitación pasando por las distintas vistas creadas (Planta Existente, Planta de Nueva Construcción, Planta del Estado Planificado,...), donde la visualización de los elementos cambiará de forma automática.

[115] Concepto introducido por Graphisoft para su software ArchiCAD.


A.09
REHABILITACIÓN PLANTA BAJA ACOTADA
1:50
A.01
ESTADO ACTUAL PLANTA BAJA
1:50
PROYECTO DE REHABILITACIÓN DE VIVIENDA
CALLE CRISTOBAL COLON Nº8, LA PALMA DEL CONDADO,HUELVA
REHAB. PLANTA BAJA ACOTADA, SUPERF.
E. ACTUAL PLANTA BAJA Y SUPERFICIES


SECCIÓN 3D PLANTA BAJA
A.27



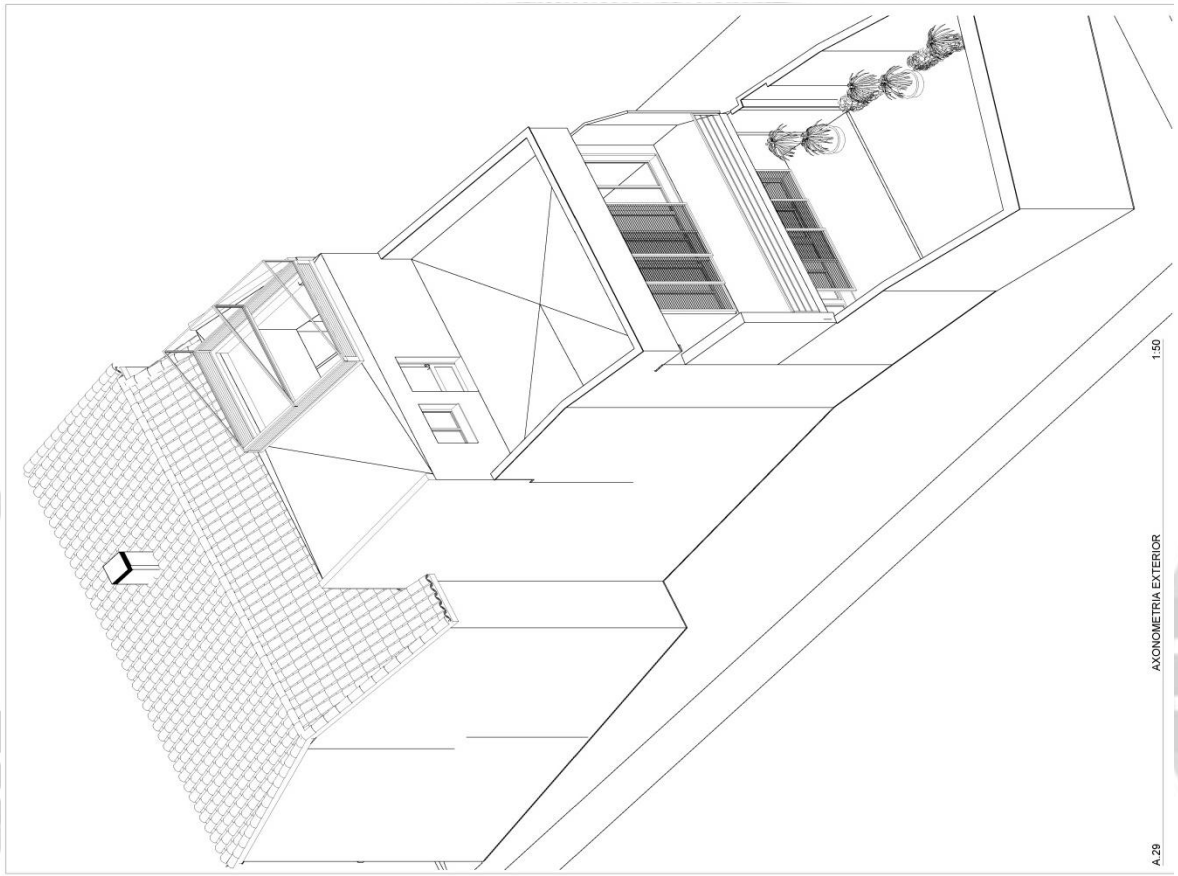


Fig. 144. Proyecto de rehabilitación de vivienda: a) Estado Actual Planta Baja, b) Estado Reformado Planta Baja, c) Sección 3D Planta Baja Reformada (página anterior); d) Sección 3D Planta primera Reformada; e) Vista 3D de la Vivienda Completa Reformada. Elaborado por ArchiCAD por la gestión de capas. Fuente: autor. 2011.

Sin embargo, algunos procesos de rehabilitación implican actuar sobre propiedades intrínsecas o componentes de los elementos en vez de intervenir en el elemento completo: en el caso que se quiera cegar una hornacina (el contenido) de un muro (como contenedor), habría que actuar sobre ella pero no sobre el muro ya que el contenedor no sufre variación. Por tanto, el nuevo estado no se puede aplicar con tan solo cambiar de una vista a otra. Esta limitación queda ahora subsanada con sólo marcar los elementos por separado en cada vista y asignándoles individualmente el estado de rehabilitación correcta.

Otra vía a seguir para limitar la visualización de cualquier elemento a un Filtro en concreto será aplicar la función "Mostrar en Filtro de Rehabilitación actual solamente" de la paleta Rehabilitación. Ahora el elemento marcado sea visible solamente en el filtro de vista establecido.

6.1.3.2. Estado de Rehabilitación a Elementos

Al abrir un proyecto existente en ArchiCAD 16/17, todos los elementos tendrán el estado de Rehabilitación "Existente" como predeterminado. Con la Paleta de Rehabilitación se podrá asignar un Estado de Rehabilitación a cualquier cantidad de elementos seleccionados en el modelo, disponiendo para ello de tres estados pre-establecidos:

- Existente: si el elemento debe mantenerse
- Nuevo: cuando el elemento se construirá durante el proceso de rehabilitación actual
- A ser Demolido (o intervenido): el elemento será demolido o desmontado durante el proceso de rehabilitación actual

Puede ser de gran utilidad establecer un nuevo Estado "predeterminado" (p. ej. Nueva Construcción) antes de empezar a colocar elementos adicionales en un proyecto existente. De esta forma se ahorrará el paso de definir el estado de esos elementos uno a uno como "nuevo" después de estar representados en el modelo.

De forma alternativa, también se puede cambiar el estado de rehabilitación de los elementos seleccionados (si todos son del mismo tipo) en el panel Etiquetas y Categorías del cuadro de diálogo de definiciones de elemento:

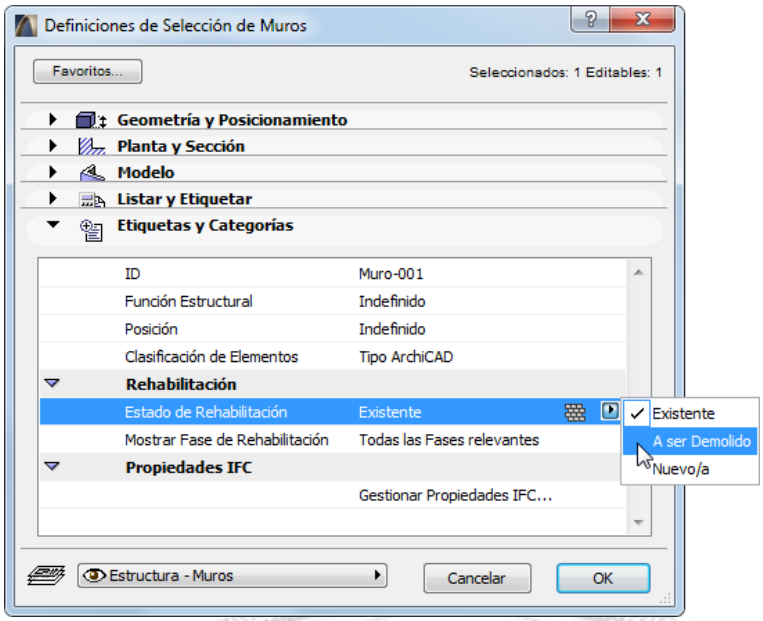


Fig. 145. En la sección de Etiquetas y Categorías de la ventana de Definiciones de todos los elementos paramétricos (Muro, Forjado, Pilar, Viga, Cubierta,...) se podrá especificar el Estado de Rehabilitación.

6.1.3.3. El uso de Filtros para la gestión y visualización de los Estados de Rehabilitación

En la trayectoria de cualquier proyecto de Rehabilitación es necesario emplear una visualización de los elementos afectados del modelo en función del Estado de intervención. Para facilitarnos el control de la visibilidad de determinados elementos específicos la aplicación emplea un Filtro de Rehabilitación determinado.

Si se define un elemento seleccionado como específico de un Filtro de Rehabilitación, este elemento solo aparecerá en ese Filtro de Rehabilitación, y no existirá en ningún otro.

A continuación se presentan un ejemplo de transformación de la distribución interior y donde los diferentes Filtro de Rehabilitación pueden afectar a la visualización de los elementos. Se ha aplicado sobre el modelo de la antigua Cárcel de la real Fábrica de Tabacos de Sevilla, para una hipotética intervención del interior en la que se adecua un sector para una biblioteca más amplia. Esto ha supuesto demoler algunos elementos existentes del edificio e introducir nuevos para cubrir funciones estructurales y de refuerzo[116].

[116] Se puede acceder a un video demostración del Módulo de Rehabilitación de ArchiCAD aplicado al modelo de la antigua Cárcel de la RFT mediante este enlace: https://www.youtube.com/watch?v=xDQzF_dPx7s

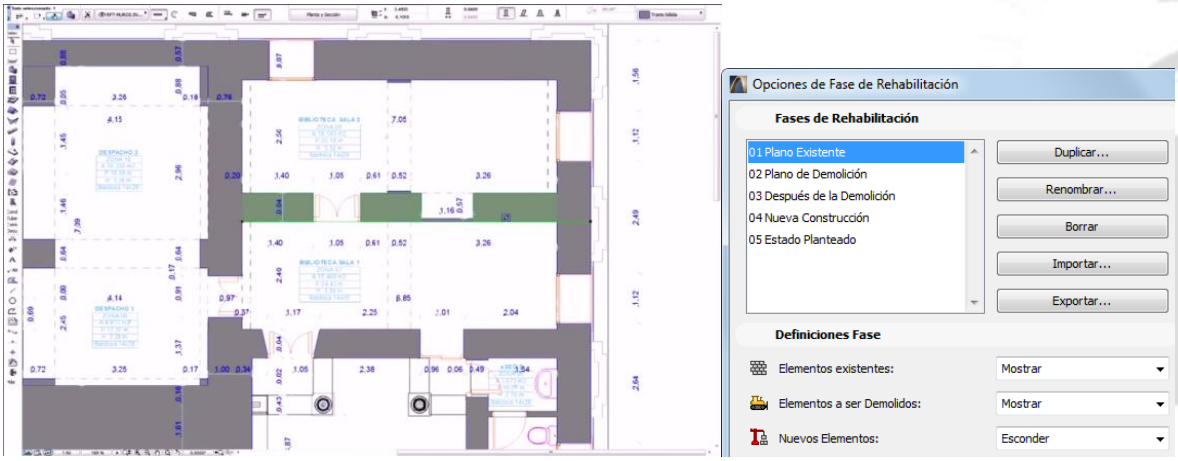


Fig. 146. Plan Existente: en este filtro, los elementos "Nuevos" no se ven en ningún caso. Otros elementos (con estado "Existente" o "A ser demolido") se muestran con sus definiciones. En este filtro de Plan existente, no se obtiene información visual sobre los planes de demolición.

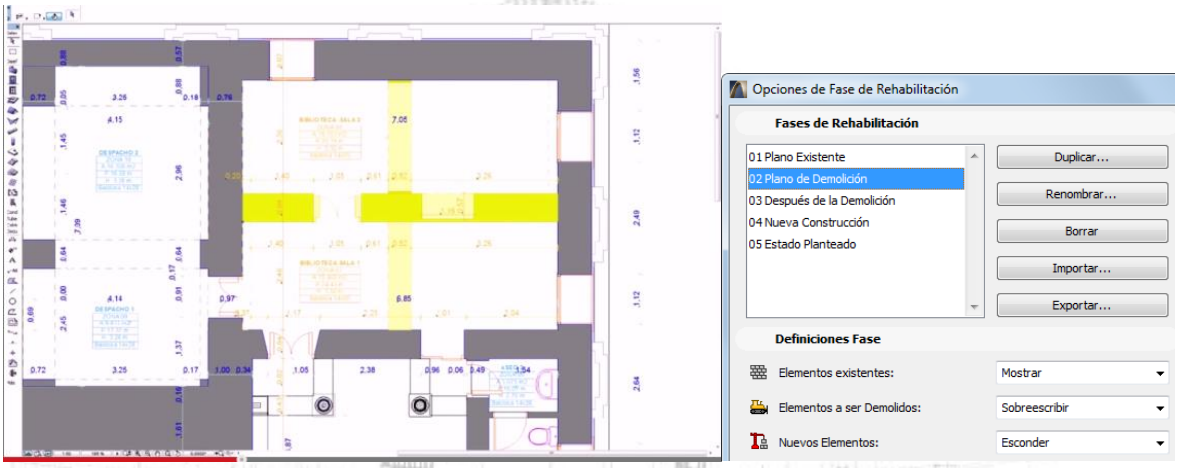


Fig. 147. Plan de Demolición: aquí, los elementos con estado "A ser demolido" se muestran con la visualización Sobreescribir, de forma que se ve de un vistazo qué será demolido y qué se va a mantener. (Los elementos "Nuevos" no se ven en ningún caso; la definición para Nuevos elementos es "Ocultar").

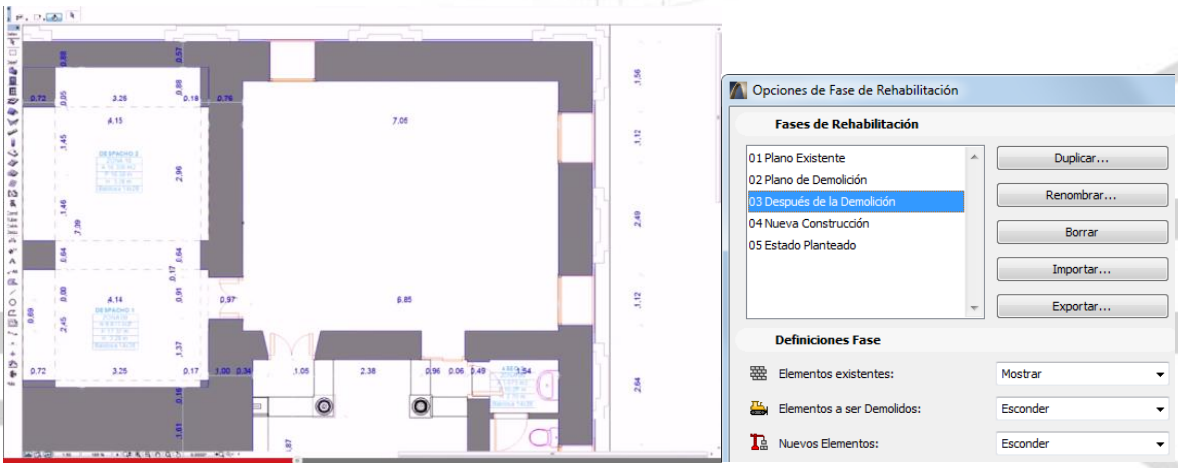


Fig. 148. Fase Tras la Demolición: es igual que el filtro Plan de Demolición, excepto por el hecho de que los elementos "A ser demolidos" desaparecen. Solo aparecen los elementos existentes.

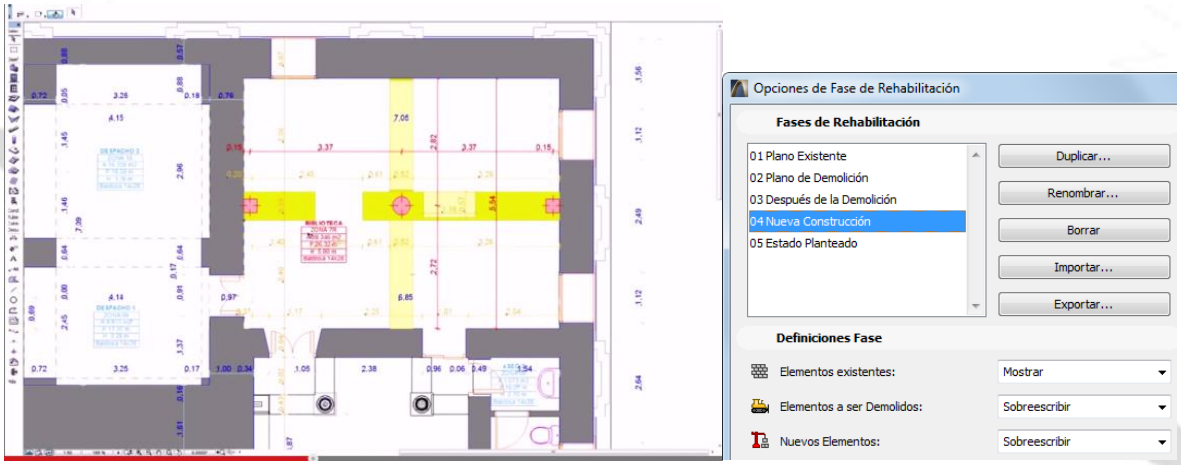


Fig. 149. Nueva Construcción: aquí, los elementos existentes se muestran con su visualización predeterminada ("Mostrar"), mientras que los elementos a ser demolidos y los nuevos elementos aparecen resaltados en un color determinado en el estilo de Sustitución.

Una vez aplicada cada Fase de Rehabilitación con sus definiciones, se podrá obtener el Listado de las cantidades totales de materiales de construcción nuevos y demolidos del proyecto.

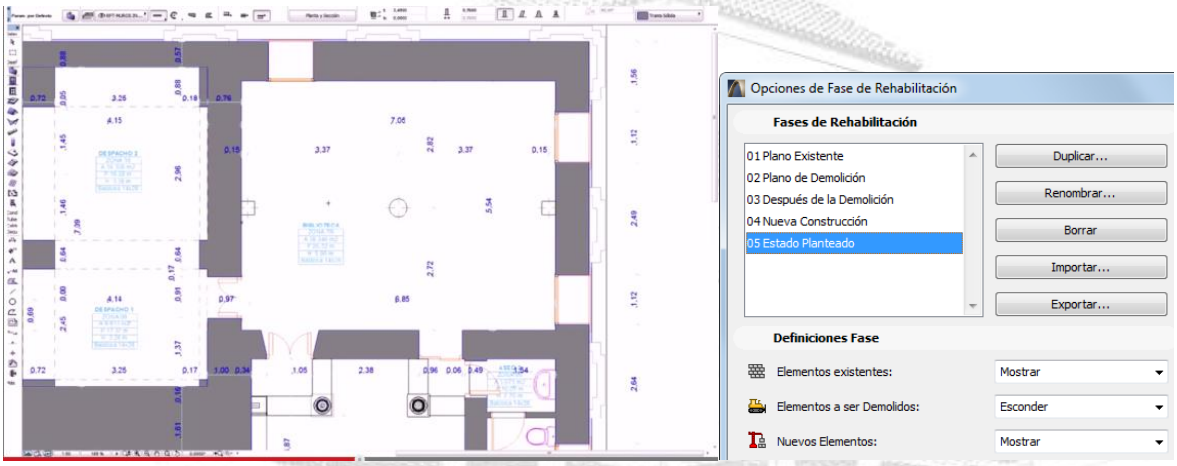


Fig. 150. Estado Planificado: este filtro se utiliza para mostrar el estado final del proyecto. Los Nuevos elementos y los elementos Existentes aparecen con su visualización predeterminada ("Mostrar"). Los elementos Demolidos no se visualizan en ningún caso ("Ocultar").

Fig. 151. Vista 3D del modelo de la antigua Cárcel de la RFT con los elementos A Demoler marcados en amarillo. La sección 2D muestra los Nuevos elementos estructurales en color Rojo. Imágenes tomadas del video: https://www.youtube.com/watch?v=xDQzF_dPx7s. Gentileza de Graphisoft.

6.1.3.4. Crear una Fase personalizada de Rehabilitación

Se puede crear nuevas Fases de Rehabilitación adicionales con otras preferencias en el filtrado para ayudarnos a trabajar de manera más flexible, como es el caso de visualizar todos los elementos con sus correspondientes reemplazos o eliminaciones. Para ello sólo hay que "Duplicar" una Fase de las que disponemos, cambiar su nombre por otro que lo identifique mejor (por ejemplo, "Filtro de Trabajo") y establecer cada una de las definiciones de Filtro.

Esta funcionalidad la hemos empleado en el mismo modelo de experimentación creando una Fase exclusiva para el Estudio Paramental de las catas abiertas en la fachada este de la antigua Cárcel de la RFT de Sevilla.

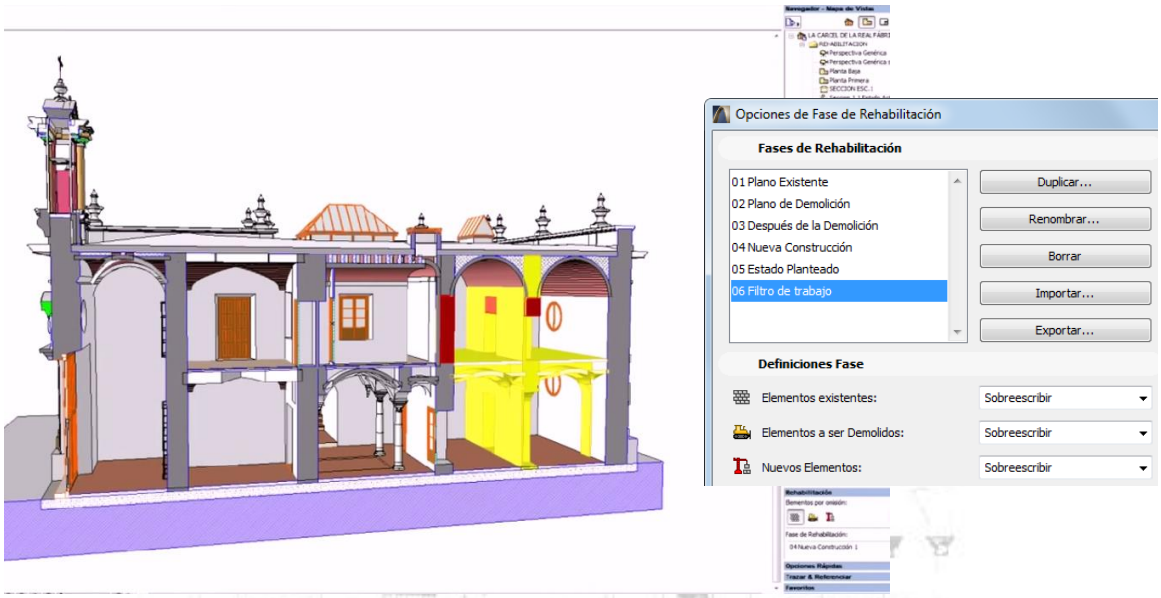


Fig. 152. Estado personalizado. Se ha definido un filtro para visualizar el estado de los elementos anterior a la intervención y los cambios sufridos después de las substituciones o eliminaciones. Imagen de Graphisoft.

6.1.3.5. Personalizar los estilos de Sustitución para la visualización

Para una buena identificación de los elementos afectados en la rehabilitación, es importante utilizar unos criterios de representación diferenciados que permitan una clasificación y visualización por fases de rehabilitación. Es lo que se conoce como Estilo de Sustitución o Cambio de Rehabilitación, permitiéndonos establecer unos parámetros personalizados para la representación de los elementos de una Fase determinada.

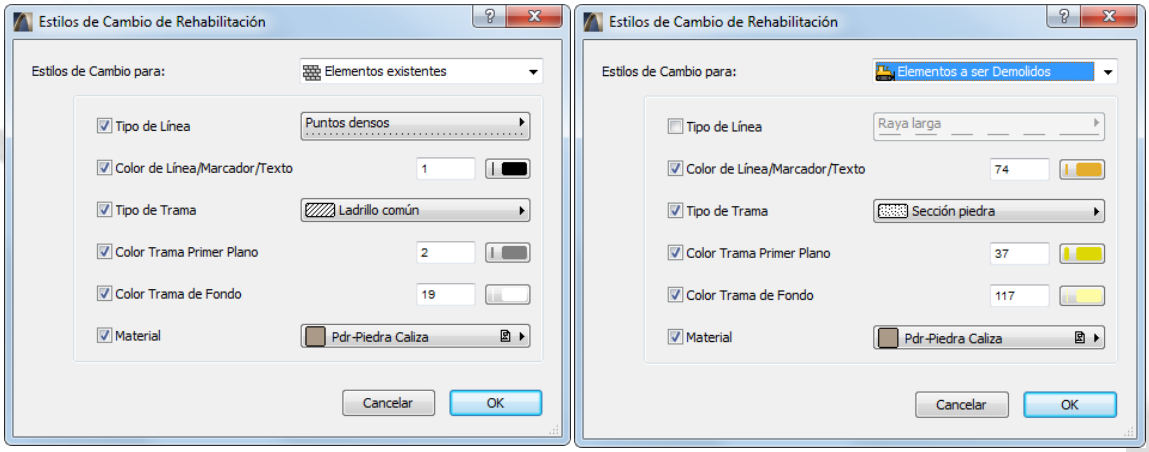


Fig. 153. El estilo de sustitución preestablecido marcará los elementos *Existentes* en negro/gris. Los *Nuevos* elementos aparecen sombreados en rojo. Los elementos *A ser Demolidos* aparecen sombreados en amarillo.

6.1.3.6. Sellos para Zonas rehabilitadas: Flujo de trabajo de Rehabilitación

Para facilitar el uso de los Sellos de Zona[117] en cualquier proceso de rehabilitación, ArchiCAD ha incorporado un flujo de trabajo flexible. Supongamos que tenemos una zona que representa una estancia con el uso existente, y que tras la reforma debe convertirse en otro nuevo uso. Tanto en la vista creada para mostrar la Planta Existente (estado inicio) como en la vista del Estado Planificado (estado final), hay que colocar los Sellos de Zona correspondientes.

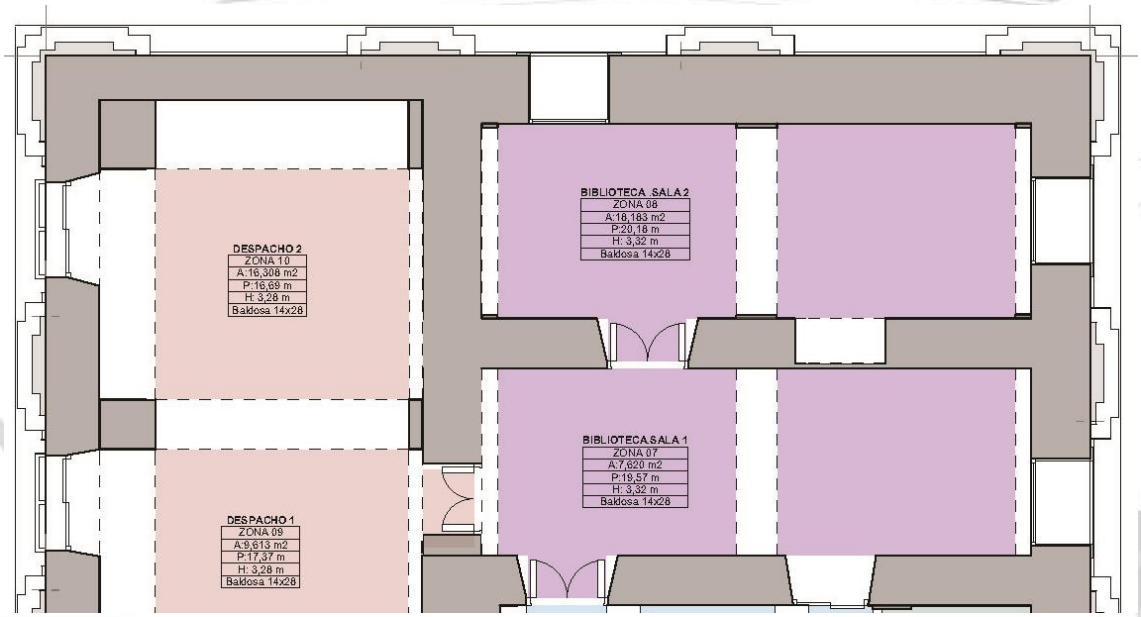


Fig. 154. Planta baja actual de la antigua Cárcel de la RFT de Sevilla. Los Sellos de las zonas, marcadas por categorías, indican los datos básicos de cada estancia: área, perímetro, altura y pavimento.

[117] Los Sellos de Zona son Objetos GDL paramétricos cuyo aspecto, contenido y comportamiento puede adaptarse a la práctica arquitectónica habitual. Residen en la Biblioteca ArchiCAD y están asociados al sector marcado con la herramienta Zona. El Sello de Zona contiene información textual sobre el sector marcado, incluyendo su nombre, número, área, perímetro, altura, tipo de pavimento y otros parámetros opcionales. El contenido visible en el Sello depende de los parámetros que se hayan definido en las Definiciones de Zona.

- El primer Sello de Zona, en la Planta Existente, tendrá el estado "Existente" y será específico de su filtro. (Mostrará los datos de la estancia antes de la reforma).

- El primer Sello de Zona, en la vista de Estado Planificado, también tendrá el estado "Existente" y llevará las especificaciones del filtro. (Incluirá los datos de la estancia reformada).

Pero como no es posible utilizar un solo Sello de Zona para expresar dos estilos de rehabilitación a la vez (los elementos a demoler y los nuevos elementos a construir), se deberá usar dos cuadros de texto en lugar de un Sello de Zona en la vista intermedia de Nueva Construcción. Ahora, en el primer cuadro de texto aparecerá los datos del estado inicial: "Demolición". Y en el segundo cuadro de texto, justo debajo, aparecerán los datos del estado final: "Nuevo".

De esta forma, en una misma vista, el primer cuadro de texto aparecerá en amarillo, para el elemento a ser demolido (el estilo de sustitución para "Demolición"). Debajo, el segundo cuadro de texto, para el elemento que se va a construir, aparecerá en rojo (el estilo de sustitución para "Nuevo").

Este flujo de trabajo, al igual que nos facilita la confección de sellos de las zonas afectadas por una rehabilitación o reforma, nos puede también beneficiar para interpretar y documentar la evolución que ha experimentado el edificio en sus sucesivas etapas históricas.

6.1.4. Resaltar elementos singulares: El Marcador de Proyecto de AchiCAD

Para perfeccionar la comunicación entre los miembros del equipo mientras dure el proyecto, es necesario de otro tipo de identificadores visuales de los elementos que incorpore el modelo. La herramienta *Marcador* de ArchiCAD nos permitirá identificar elementos con un color determinado facilitando tareas de revisión, otras propuestas de diseño o simplemente destacarlos gráficamente.

Al marcar un elemento tendremos múltiples beneficios en las tareas de modelado ya que facilitará:

- Corregir y dirigir los errores de los colaboradores o las desviaciones de las líneas maestras de un proyecto.

- Gestionar las sugerencias u otras soluciones en la etapa de diseño.

- Hacer indicaciones de soluciones alternativas, motivada por las posibles hipótesis surgidas de la investigación en edificios históricos. Esta funcionalidad se aplicó en el modelo de La Cárcel de la Real Fábrica de Tabacos de Sevilla para marcar elementos que destacaban por su excepcionalidad, y que fueron mostrados después en toda la planimetría.

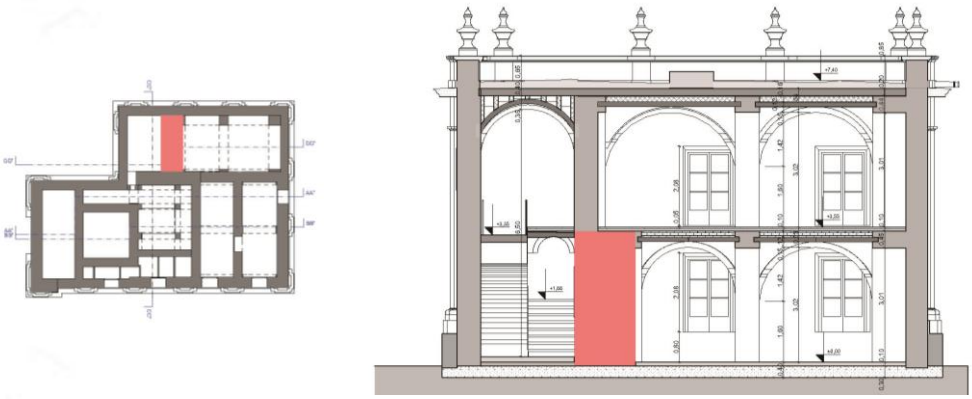


Fig. 155. Sección transversal DD'al modelo BIM de la antigua Cárcel de la RFT de Sevilla. Se ha empleado el marcador para destacar el muro lateral de la escalera en planta baja debido a su desmesurado espesor.

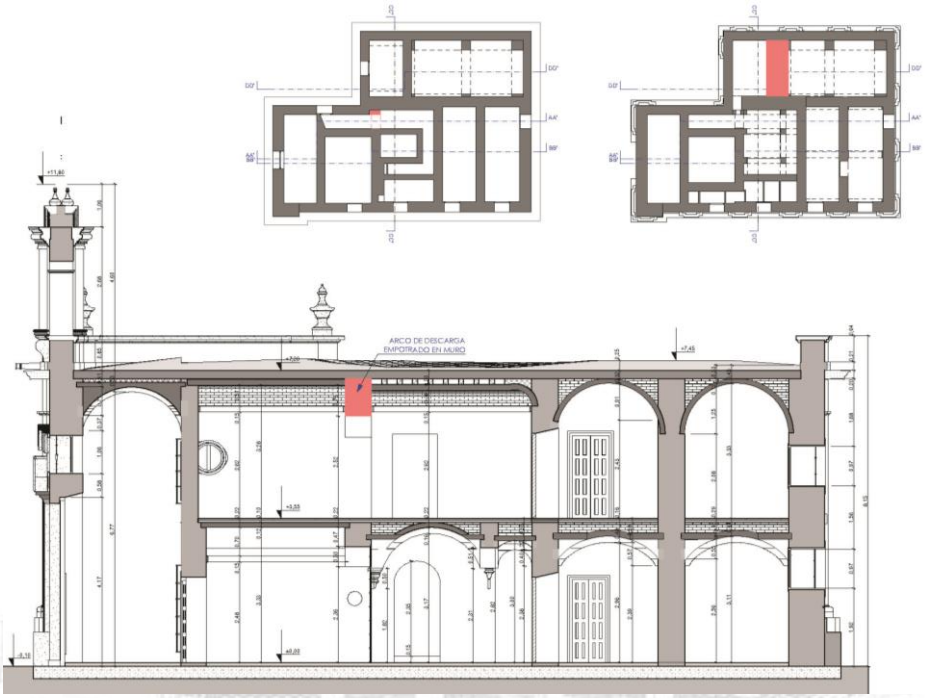


Fig. 156. Sección longitudinal AA' al modelo BIM de la antigua Cárcel de la RFT de Sevilla. El Marcador destaca un arco de descarga en un muro del corredor que envuelve al patio interior en la planta 1ª.

Todas las humedades de la fachada principal y lateral Este también podrían haber sido destacadas, aunque se decidió finalmente no incluir las marcas en los planos generados a escala 1:100 por no ser un tamaño apropiado para detalles.

- Identificar las patologías detectadas en la fase inicial de auscultación o en los posteriores trabajos de ejecución, aplicándose a los elementos constructivos del tipo muro, viga, forjado, cubierta o cualquier objeto paramétrico partícipe en el modelo. Como veremos posteriormente, en el modelo del Cenador de Carlos V se marcaron las vigas del artesonado norte que estaban afectadas por filtraciones.

- Diferenciar las etapas evolutivas del proceso constructivo de un edificio histórico.

Una *marca en sí* engloba un conjunto coherente de *Correcciones, Elementos Destacados* y *Etiquetas* situados en el plano, y unos textos de *Discusión* surgidos de los comentarios emitidos por los usuarios participantes. En un proyecto de rehabilitación o cuando se interviene en un edifico histórico es imprescindible una herramienta de este calibre, que además de facilitarlos el marcaje de elementos singulares nos permite una gestión eficaz a través de los controles de la paleta Herramientas del Marcador.

Para comenzar habría que incorporar el nuevo asunto o *Entrada de Marcador*, y proceder al marcado de los elementos utilizando una gama de estilos que establecerán la apariencia. Dispondremos para ello de un Panel de Estilos con la lista de las categorías de marcación, identificados en ArchiCAD como *Elementos de Corrección*. Los estilos preestablecidos son: *Conflicto de Marcador Múltiple*[118], *Revisión, En Curso, Cerrado,* Aprobado y *Observaciones*.

Cada nombre de estilo de marcador, dispondrá de dos casillas de colores. La primera muestra el color de pluma de los *Elementos de Corrección* y la segunda casilla muestra el color de pluma de los *Elementos Destacados*.

Fig. 157. Lista de Estilos con su pareja de colores.

➢ Compartir Información de Marcador

Las anotaciones del *Marcador* de ArchiCAD para un proyecto se transmiten a otros usuarios o colaboradores a través de la Función de Publicador. Estos podrán abrir el archivo en ArchiCAD, revisar los marcadores y añadir comentarios a la conversación o revisión[119]. Si fuese un proyecto en equipo (véase el apartado 6.4.1.1.Trabajo en equipo "Teamwork" de Métodos de colaboración), la información se comparte de forma más directa al asignarse la nueva entrada a otro miembro conectado, que recibirá el aviso del *Marcador* a través de un mensaje automático.

[118] ArchiCAD lo emplea para Indicar que se ha utilizado más de una entrada de Marcador para resaltar los elementos que aparecen con este color.
[119] Si se publica las vistas en formato DWF, los usuarios que no dispongan de ArchiCAD podrán añadir otras marcas con el *Revisor de Proyecto*. El revisor puede enviar los archivos DWF marcados e importar estos archivos como una nueva entrada del Marcador.

En el capítulo de Gestión de la Información mostraremos el Flujo de trabajo del *Marcador* de ArchiCAD para el modelo del Cenador de Carlos V. Aunque su funcionalidad básica es crear marcas para la revisión del proyecto por los miembros del equipo y colaboradores, aquí hemos querido aplicarlo para enfatizar las patologías detectadas en el edificio (Fig. 158)[120].

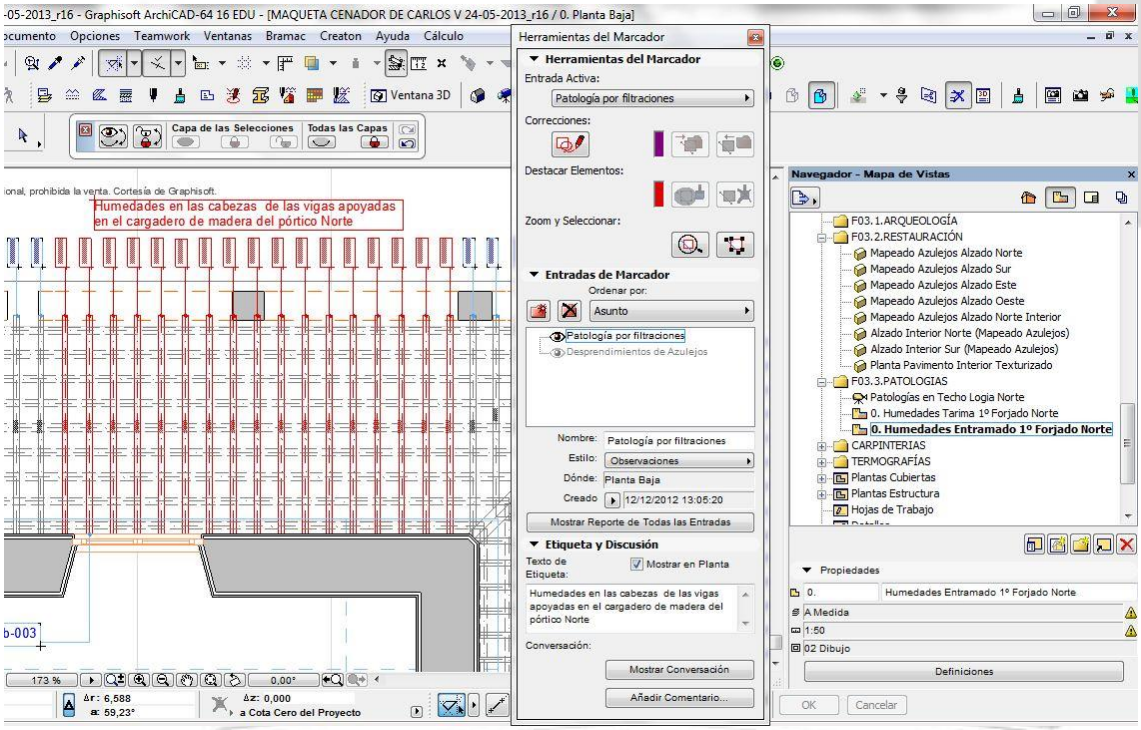


Fig. 158. Interfaz de ArchiCAD con el uso de la herramienta Marcador. Los elementos destacados pertenecen a la vista "Humedades Entramado 1º forjado Norte", de la carpeta "F03.Patologías" del Navegador

6.1.5. El Listado de datos de los modelos de información

Un proyecto BIM es esencialmente una base de datos de elementos de construcción tipo *muros, forjados, vigas, cubiertas, estructuras Complejas, objetos, etc*, donde toda representación gráfica está asociada a su vez a unos datos de identificación, clasificación y propiedades físicas de los elementos incluidos en el modelo, pero que será necesario gestionar para obtener el cálculo ordenado de la información.

El análisis de los datos, el cálculo de los resultados requeridos y la creación de los listados se hacen de acuerdo a un conjunto de instrucciones predefinidas por el software para configurar un esquema de listado que facilitará el procesamiento de la información del proyecto y presentación de los resultados requeridos. En nuestro caso hemos empleado los formatos que nos ha facilitado ArchiCAD, y que engloban dos tipologías:

[120] Apartado 9.1.6. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

- Listados de *Texto Simple*. Lista los resultados de los cálculos mostrándolos en ventanas de texto para guardarlos posteriormente como hoja de cálculo, archivos de texto o archivos HTML (Fig. 159).

LISTADO DE MUROS INTERIORES CON SUPERFICIES DE CARAS CLASIFICADOS POR CAPAS

Superficie de Muros por Capas — 30/11/2010

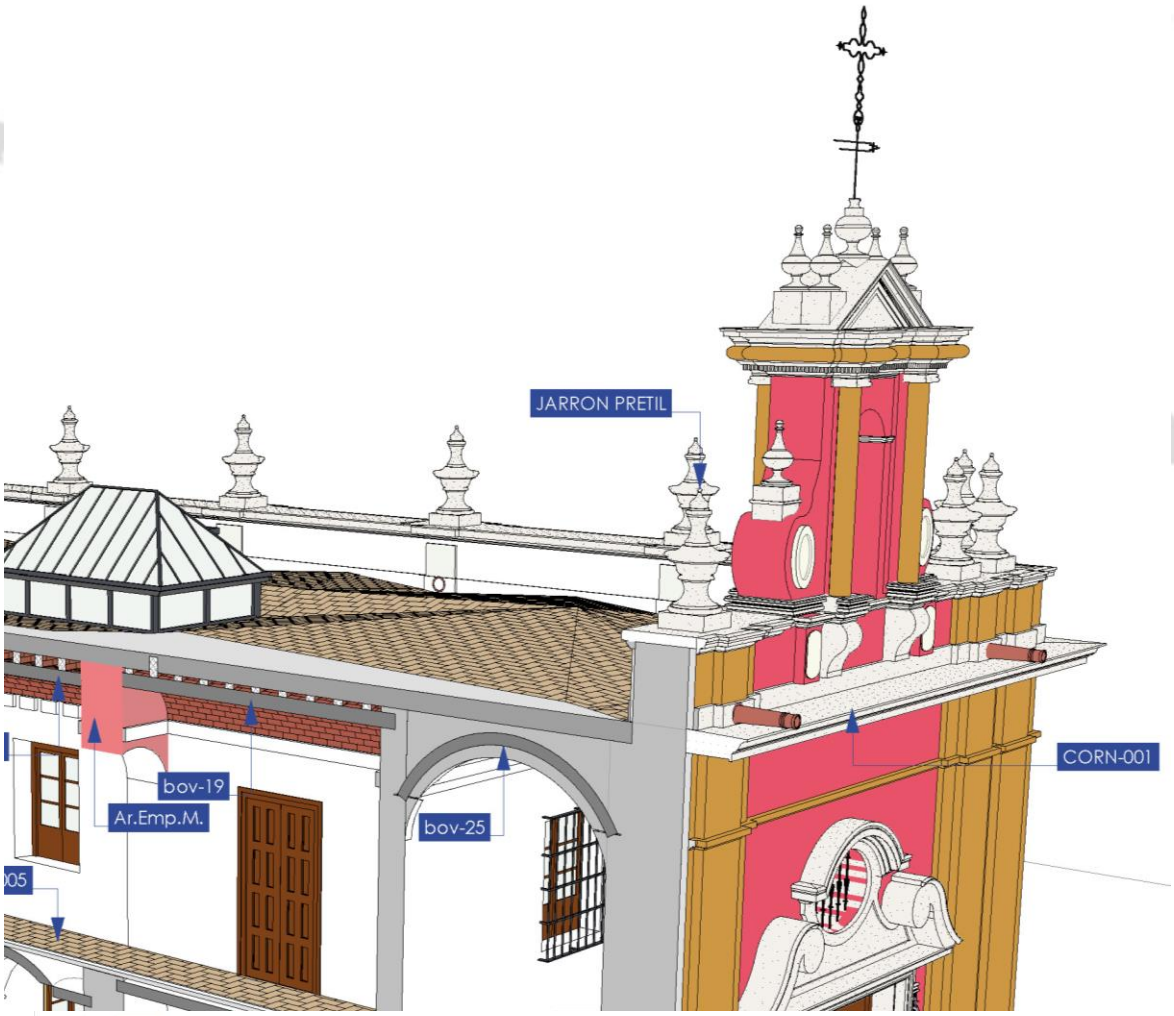
Nombre de Capa	Piso	ID de usuario	Material de la superficie A	Superficie A	Material de la superficie B	Superficie B
Interior - Particiones						
	Planta Pri...	MURO INT P1ª	Superf-Estuco Blanco	3,54 m²	Superf-Estuco Blanco	3,82 m²
	Planta Pri...	MURO INT P1ª	Superf-Estuco Blanco	3,64 m²	Superf-Estuco Blanco	4,26 m²
	Planta Pri...	MURO INT P2ª	Superf-Estuco Blanco	2,88 m²	Superf-Estuco Blanco	2,88 m²
Interior - Particiones			**Superf-Estuco Blanco**	**10,05 m²**	**Superf-Estuco Blanco**	**10,96 m²**
Interior - Particiones			**Total**	**10,05 m²**		**10,96 m²**
MUROS INTERIORES						
	Planta Baja	MURO INT PB	Superf-Estuco Blanco	1,13 m²	Superf-Estuco Amarillo	1,13 m²
	Planta Baja	MURO INT PB	Superf-Estuco Blanco	11,86 m²	Superf-Estuco Amarillo	13,81 m²
MUROS INTERIORES			**Superf-Estuco Blanco**	**12,99 m²**	**Superf-Estuco Amarillo**	**14,94 m²**
	Planta Pri...	MURO CERR...	Superf-Estuco Blanco	2,78 m²	Superf-Estuco Blanco	2,85 m²
MUROS INTERIORES			**Superf-Estuco Blanco**	**2,78 m²**	**Superf-Estuco Blanco**	**2,85 m²**
	Planta Baja	MURO CERR...	Superf-Estuco Blanco	8,57 m²	Superf-Estuco Blanco	8,65 m²
	Planta Baja	MURO CERR...	Superf-Estuco Blanco	9,02 m²	Superf-Estuco Blanco	14,71 m²
	Planta Baja	MURO CERR...	Superf-Estuco Blanco	20,34 m²	Superf-Estuco Blanco	22,81 m²

página 1

Fig. 159. Listado parcial de muros interiores clasificados por capas, extraído del modelo BIM de la antigua Cárcel de la RFT de Sevilla.

- Listados interactivos *Gráficos* que ofrecen tanto información alfanumérica como información de imagen, conteniendo dibujos de símbolos de elementos (objeto, puerta y ventana), logos y otros bitmaps. Una vez editados los informes pueden ser guardados como archivos de lista exportables en diferentes formatos *-rtf, doc, xls* y *pdf-*, y ser incluidos como vistas predefinidas en las memorias o en la planimetría del proyecto.

En las próximas figuras se muestran detalles 3D sacados del modelo BIM de la antigua Cárcel de la Real Fábrica de Tabacos de Sevilla junto a los listados de datos filtrados, y que incorporan: las vistas gráficas de los objetos arquitectónicos, la cantidad, las dimensiones básicas de cada pieza, el material utilizado, etc. (Fig. 160.a, Fig. 161.b).



Generación de modelos de información para la gestión de una intervención de rehabilitación: *La cárcel de la Real Fábrica de Tabacos de Sevilla*
TRABAJO FIN DE MASTER marph 2009-2010 Juan Enrique Nieto Julián

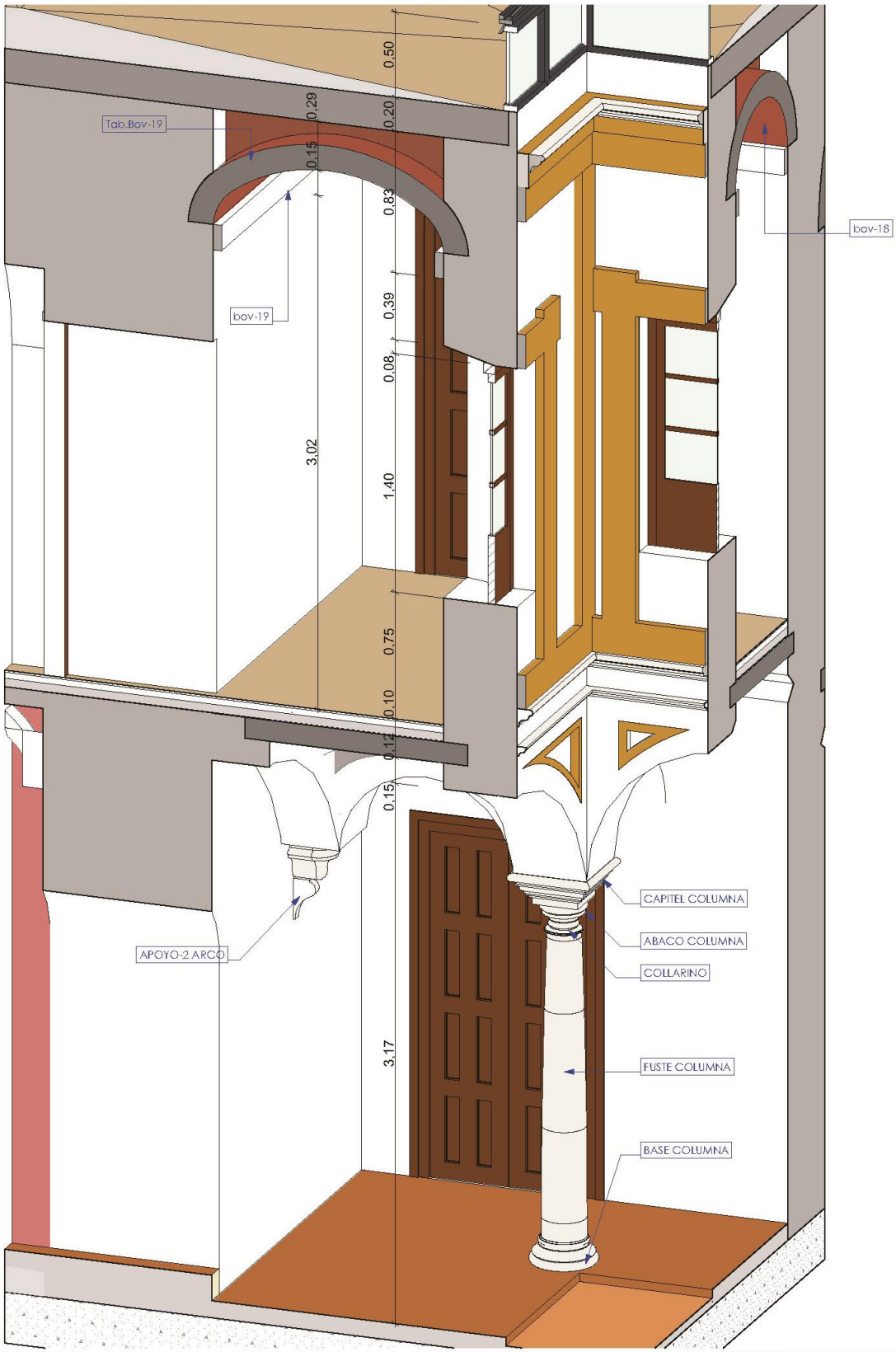
LISTADO 01 DE OBJETOS ARQUITECTÓNICOS DECORATIVOS

1:1 PLANO Nº 42

LO-01 LISTADO DE OBJETOS

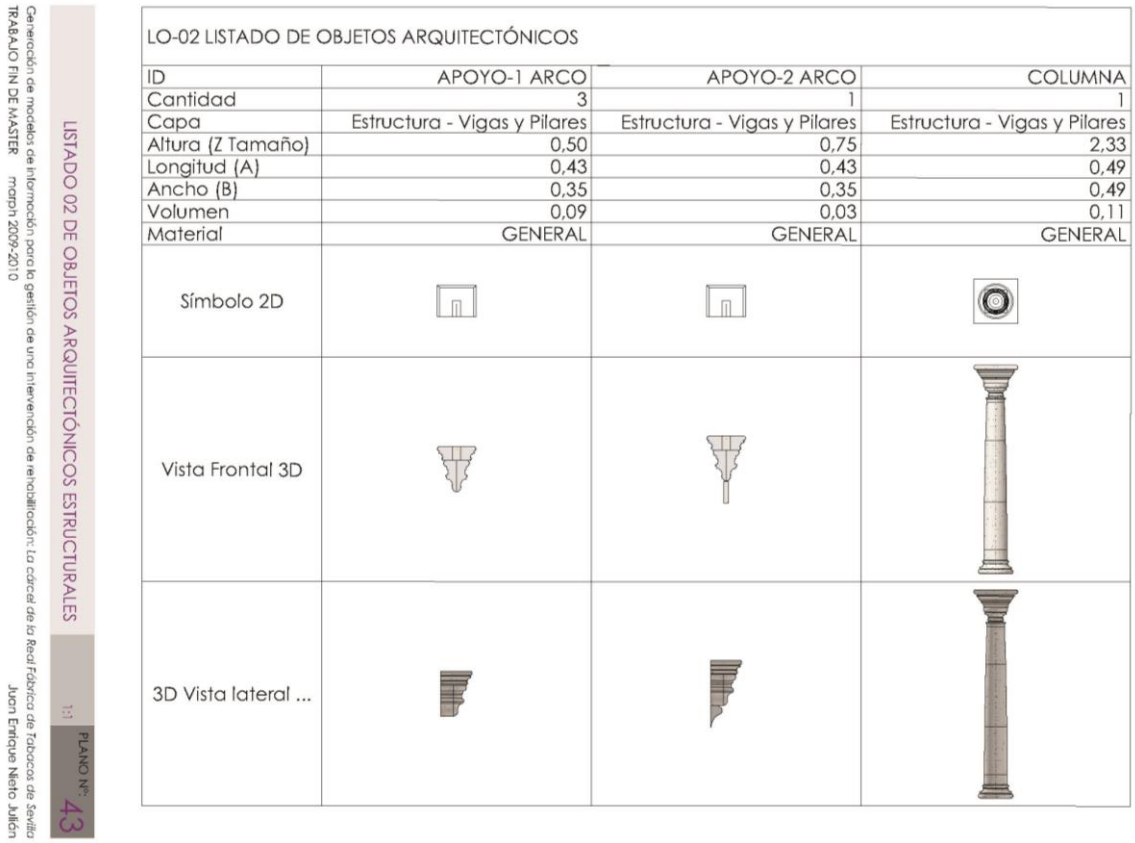
ID	JARRON ESPAD-2	JARRON ESPADAÑA	JARRON PRETIL	JARRON VELETA
Cantidad	2	4	21	1
Capa	REMATES	REMATES	REMATES	REMATES
Altura (Z Tama...	0,97	0,97	1,28	0,70
Longitud (A)	0,37	0,30	0,59	0,35
Ancho (B)	0,37	0,30	0,59	0,35
Volumen	0,10	0,18	2,31	0,03
Material	Pdr-Piedra Caliza	Pdr-Piedra Caliza	Pdr-Piedra Caliza	Pdr-Piedra Caliza
Símbolo 2D				
Vista Frontal 3D				
3D Vista later...				

Fig. 160. a) Detalle 3D de la fachada del modelo BIM de la antigua Cárcel de la RFT de Sevilla; b) Listado de piezas arquitectónicas de la Espadaña. Fuente: Máster marph. Elaboración propia. 2010.



DIMÉTRICA PARCIAL DEL PATIO INTERIOR CON IDENTIFICACIONES 1:30 PLANO Nº: 33

Generación de modelos de información para la gestión de una intervención de rehabilitación: *La cárcel de la Real Fábrica de Tabacos de Sevilla*
TRABAJO FIN DE MASTER marph 2009-2010 Juan Enrique Nieto Julián



LO-02 LISTADO DE OBJETOS ARQUITECTÓNICOS

ID	APOYO-1 ARCO	APOYO-2 ARCO	COLUMNA
Cantidad	3	1	1
Capa	Estructura - Vigas y Pilares	Estructura - Vigas y Pilares	Estructura - Vigas y Pilares
Altura (Z Tamaño)	0,50	0,75	2,33
Longitud (A)	0,43	0,43	0,49
Ancho (B)	0,35	0,35	0,49
Volumen	0,09	0,03	0,11
Material	GENERAL	GENERAL	GENERAL
Símbolo 2D			
Vista Frontal 3D			
3D Vista lateral ...			

Fig. 161. a) Axonometría dimétrica del modelo BM de la antigua Cárcel de la RFT de Sevilla (página anterior); b) Listados de objetos arquitectónicos inventariados. Fuente: Máster marph. Elaboración propia. 2010.

En cuanto a los segundos, llamados por ArchiCAD *Esquemas* de listado, suelen ser bastante más flexibles en su configuración que los listados de texto y podrán cumplir con una gran variedad de necesidades. El usuario dispondrá de un asistente para incorporar los ítems imprescindibles y conformar el informe específico amoldado al especialista que intervenga[121].

6.1.6. Ubicación geográfica del modelo BIM

Las aplicaciones BIM nos permiten realizar simulaciones del soleamiento del modelo en función de su ubicación terrestre, la época estacional y el horario estimado. Para el software ArchiCAD, disponemos del cuadro de diálogo *Ubicación del Proyecto* de ArchiCAD donde se podrá definir la ubicación geográfica del modelo de información BIM.

Los parámetros geográficos introducidos son fundamentales para:

- Ejecutar la función de Evaluación de Energía.
- Calcular la posición del Sol en la visualización 3D del modelo y realizar estudios de soleamiento y proyección de sombras durante todo el recorrido del sol.

[121] ArchiCAD dispone del asistente *Definir Esquemas de Lista* para facilitar al usuario la producción del listado demandado, así como la complejidad y formato de la hoja. En él, se definirán qué tipos de elementos, componentes o zonas serán incluidas en el cálculo.

- Hay objetos de biblioteca de ArchiCAD que una vez insertados en el modelo hacen referencia al valor del Norte definido en el proyecto.

- Enlazar con la extensión *Google Earth Connection,* que tiene en cuenta la altitud.

Para una precisión máxima, como es el caso de realizar una evaluación energética del edificio, se debe identificar y rellenar los datos exactos de latitud/longitud para la ubicación del proyecto.

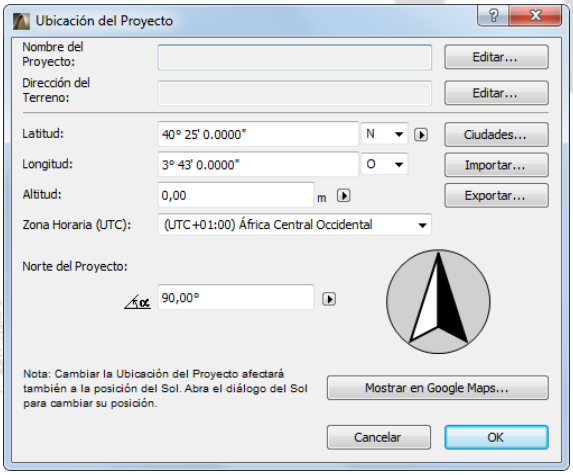


Fig. 162 . Cuadro de datos para la ubicación del proyecto BIM. Introducción de los datos de latitud (Norte y Sur), longitud (Este y Oeste), unidad de medida, altitud, zona horaria y orientación del norte. ArchiCAD 17

Si accedemos a la pestaña *Mostrar en Google Maps* podremos ver la ubicación del proyecto según los datos especificados en los cuadros. Para ello es necesaria una conexión a internet[122]. Los modelos BIM expuestos han sido ubicados con sus coordenadas geográficas: la antigua Cárcel en su emplazamiento de la Real Fábrica de Tabacos, ahora sede de la Universidad de Sevilla, y el Cenador de la Alcoba en los Jardines del Alcázar de Sevilla. Ambos modelos serán incluidos en el CD, adjunto al documento impreso de la Tesis, para que puedan ser explorados donde su ubicación geográfica.

Fig. 163. Visualización aérea de la Ciudad de Sevilla, donde se aprecia la posición del Cenador de la Alcoba en los jardines del Alcázar. Imagen tomada desde *Google Maps.*

[122] Para consultar datos precisos utilizando Google Maps, pulsar el botón derecho del ratón para que aparezca el menú contextual y escoger *¿Qué hay aquí?*, para ver y copiar los datos de latitud/longitud.

6.1.7. Métodos de colaboración del software BIM

El concepto de colaboración está bastante consolidado desde varios años atrás en el sistema BIM, aunque con ciertas particularidades según la aplicación empleada[123]. Al ser ArchiCAD el software elegido para el Modelado de Información de varios edificios que se expondrán en el proyecto de tesis, nos centraremos en este apartado en exponer sus métodos de colaboración.

ArchiCAD ha apostado por un flujo de trabajo efectivo, pudiendo apreciar su continuada implementación desde diferentes secciones: Referencias externas XREFs, Módulos Vinculados, Marcador de Proyecto, Trabajo en equipo "Teamwork", Revisor de Proyecto e Interoperabilidad.

Aunque algunas de estas soluciones de colaboración están bastante implantadas en los programas tradicionales de CAD, como es el caso de los Módulos Vinculados a otros proyectos y las referencias externas a vistas (XREFs), es imprescindible explorar todas las posibilidades de colaboración dentro de la aplicación BIM, pues aquí se trabaja en un modelo de entidades constructivas del que posteriormente se obtendrán las representaciones elegidas y no con meras proyecciones de elementos vectoriales.

6.1.7.1. El Trabajo en Equipo

El concepto de Trabajo en Equipo o "Teamwork" está implantado en ArchiCAD desde 1997, siendo la principal solución de la empresa GRAPHISOFT para compartir datos entre los miembros del equipo multidisciplinar. Lo que parecía una magnífica idea, aunque poco práctica por las incomodidades que ha supuesto siempre la implantación de una nueva metodología en el trabajo, ha acabado en una necesidad impuesta con el tiempo debido a los requisitos actuales de colaboración del trabajo de arquitectura: mayor complejidad de los proyectos por la innumerable normativa que cumplir desde diferentes secciones (mencionemos sólo la conjugación de todos los DB del CTE), mayor tamaño de los archivos y uso masivo de la comunicación basada en internet.

Teamwork de ArchiCAD está basado en una arquitectura de cliente-servidor y está diseñado para garantizar la máxima flexibilidad, velocidad y seguridad de los datos (incluso los distribuidos por todo el mundo) para colaborar en proyectos de gran tamaño. Esta tecnología se hace hoy en día imprescindible en el trabajo en proyectos de colaboración, diseñado de forma específica para responder a las necesidades de un trabajo en grupo vigente a ámbito internacional[124].

---

[123] El profesor Eloi Coloma, en su tésis doctoral *Tecnologia Bim per al Disseny Arquitectònic*, realiza un análisis de los software ArchiCAD y Revit Architecture, y hace una comparativa de la metodología empleada para el trabajo en equipos.
[124] Soluciones de colaboración de ArchiCAD:
file:///C:/Program%20Files/Graphisoft/ArchiCAD%2016/Ayuda/Files/wwhelp/wwhimpl/js/html/wwhelp.htm#href=05_Collaboration.08.003.html#1008155

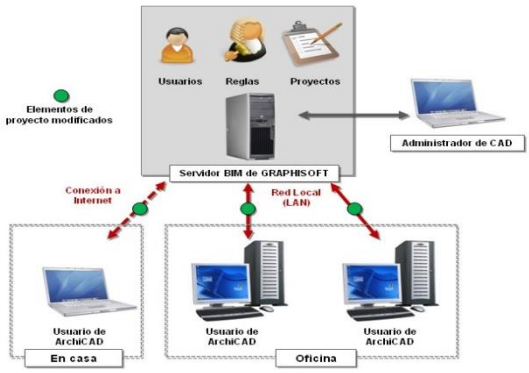


Fig. 164. El concepto Teamwork de ArchiCAD

La clave de este concepto es el empleo de un Servidor BIM, donde la aplicación de servidor inteligente mantiene el modelo BIM completo y actualizado de cada proyecto. Los miembros del equipo trabajan en PC locales y periódicamente envían y reciben cambios entre el servidor y su Software BIM local. Durante las operaciones de enviar y recibir, sólo se envían a la red los elementos del proyecto que se han modificado, en vez de todos los datos del modelo; de esta forma las comunicaciones de datos son mucho más rápidas y permiten que todo el equipo pueda seguir trabajando paralelamente.

Otro componente fundamental es que Teamwork ofrece un flujo de trabajo muy dinámico y flexible. El usuario podrá reservar y entregar sobre la marcha elementos del modelo y otros datos relacionados con el proyecto, como atributos o vistas, operando sobre aquellos elementos que necesita en cada momento. Para la comunicación entre los miembros del equipo se empleará un sistema de mensajería integrado basado en elementos y en tareas. En los grandes equipos multidisciplinares se deberá complementar con la aplicación Administrador del servidor BIM, que permite a los CAD Managers gestionar de forma remota proyectos, servidores, usuarios, roles y responsabilidad a lo largo y ancho de toda la empresa.

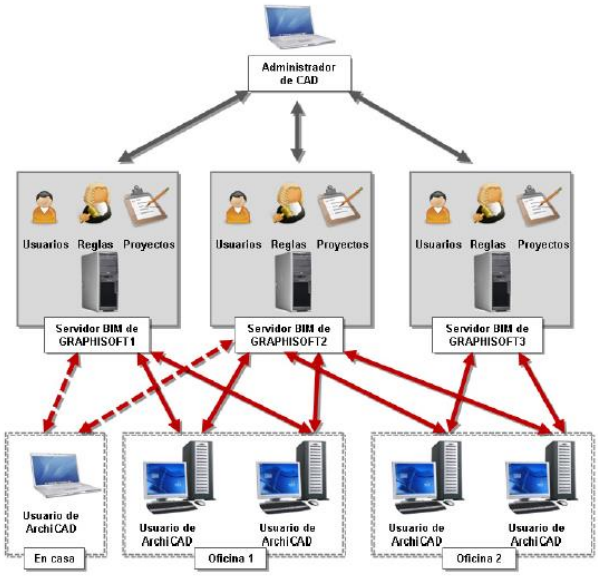


Fig. 165. Los CAD Managers pueden gestionar múltiples servidores con el Administrador del Servidor BIM

6.1.7.1.1. Asignación de las áreas de trabajo

ArchiCAD emplea un marcado en color para destacar las áreas de trabajo y llevar un mejor control sobre las tareas asignadas a los usuarios del equipo. De este modo, los miembros del equipo podrán verificar de forma muy interactiva cuáles son los elementos que poseen y cuáles son las áreas de trabajo de sus compañeros actualmente.

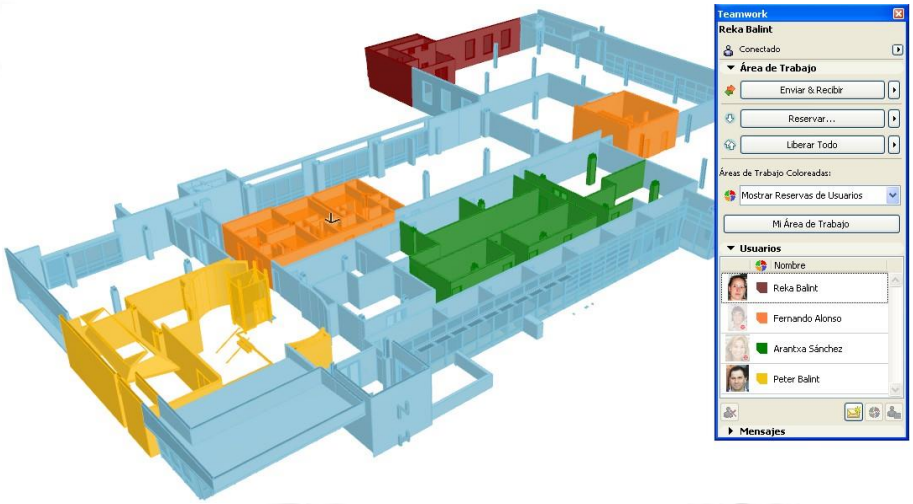


Fig. 166. Áreas de Trabajo con Código de Color. La información visual sobre el estado de los elementos estará disponible en las vistas 2D como en las ventanas 3D. Fuente: Soluciones de colaboración de ArchiCAD.

6.1.7.1.2. Mensajes basados en los elementos del modelo BIM

Para que el trabajo en colaboración sea efectivo hace falta una comunicación fluida. ArchiCAD dispone, para ello, de un sistema de mensajería para incorporar mensajes de texto a los elementos reservados del modelo. Los mensajes serán enviados con cada operación de "Solicitar" y de "Asignar", facilitando al destinatario un mejor entendimiento del mensaje y una localización fácil de los elementos transferidos o los elementos solicitados del modelo (tan solo hay que marcar en el botón "Mostrar Elemento" situado dentro del mensaje).

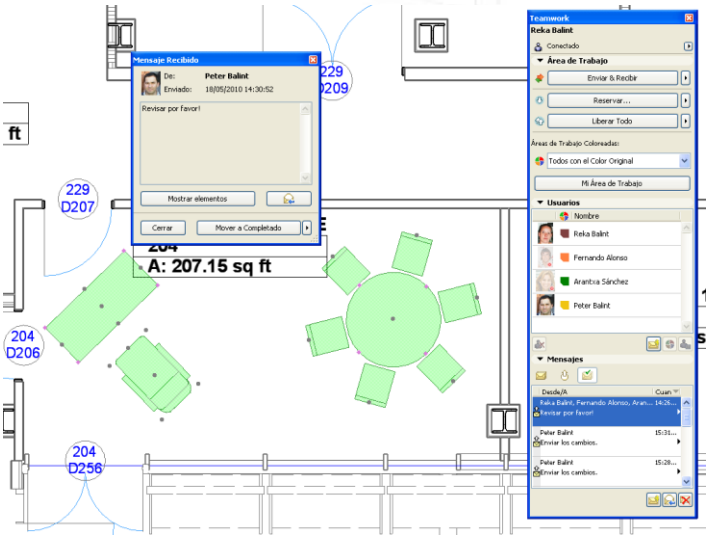


Fig. 167. Mensajería del sistema Teamwork de ArchiCAD, con los elementos transferidos destacados en la vista al aplicar "Mostrar Elemento".

6.1.7.2. El uso de Referencias Externas

Las Referencias externas (Xref) es una solución de intercambio de proyectos característico de casi todas las aplicaciones CAD que se han basan en el concepto de vinculación de archivos. Este concepto queda muy limitado en las aplicaciones BIM, ya que sólo se puede utilizar para hacer referencia a dibujos 2D. Las Xref lo que ofrecen es una forma sencilla de gestionar y combinar los dibujos DWG/DXF de los colaboradores, actualizándose en el archivo de proyecto cuando se han realizado cambios en los archivos vinculados como Xref.

Es utilizado frecuentemente cuando se trabaja sobre una misma vista del modelo (por ejemplo, en una planta de distribución), donde hay que hacer referencia a diferentes esquemas de instalaciones.

6.1.7.3. Los Archivos Vinculados

En cambio, la otra solución de Módulos Vinculados para proyectos, si funciona como un verdadero método de colaboración interna que le facilita al usuario desarrollar y almacenar partes del archivo de proyecto principal en un archivo externo independiente considerado como documento *módulo*. El archivo de proyecto (o *host*) incluye sólo una referencia (o vínculo) al contenido del documento *módulo*. De este modo, todas las modificaciones que se hayan consumado sobre el archivo *módulo* se reflejarán en el archivo de proyecto de forma automática.

Es muy efectivo en proyectos donde se deben gestionar grupos de elementos repetitivos. Es el caso de una repetición de estancias con un uso determinado dentro de un conjunto edificatorio. Aunque también se puede aplicar en subdividir grandes proyectos en archivos más pequeños y manejables y de reducir el tamaño del archivo de proyecto o *host*.

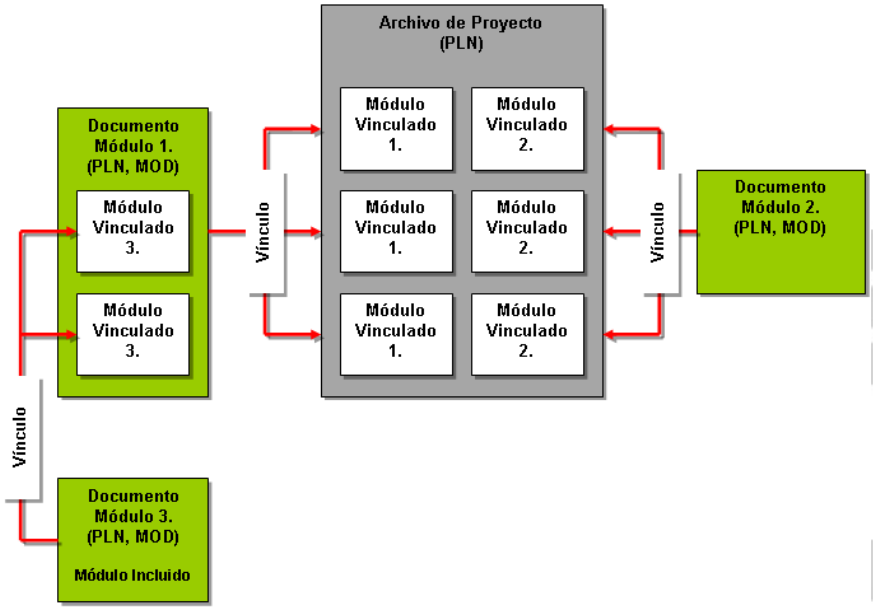


Fig. 168. El concepto de Módulo Vinculado. Si un edificio contiene varios pisos idénticos, puede vincular la planta tipo del archivo *host* al resto de pisos. El origen de módulo vinculado estará dentro del archivo *host*.

6.1.7.4. Organización de proyectos complejos

En los anteriores apartados se ha examinado las diferentes soluciones de colaboración que nos proporciona la aplicación BIM. Pero para proyectos complejos se necesitan soluciones de colaboración muy específicas adaptadas a las peculiaridades de la edificación. Está claro que para una mejor gestión de toda la información es necesario incluir archivos externos como parte de su modelo. La pregunta que nos haríamos entonces sería ¿cuál es el mejor sistema o combinación de ellos para que la colaboración sea productiva?

La nueva posición que tomemos deberá ajustarse especialmente a la organización del estudio y al tipo de proyecto. Pero como principio básico a cumplir, será que para los proyectos grandes o donde concurren varias disciplinas deberán dividirse en partes lógicas mediante una combinación de ambas soluciones: Trabajo en Equipo (Teamwork en ArchiCAD) y vínculos externos

Serán el volumen de la edificación, el número de sectores diferenciados o de zonas repetitivas los que definan la estructura del proyecto. Se construirá inicialmente un modelo tridimensional de todo el edificio con los elementos básicos para la visualización y el diseño, y que constituirá el archivo origen. Posteriormente se crearán dos o más archivos Teamwork que actuarán como sustento de la documentación en las siguientes fases del proyecto y su posterior ejecución. Los archivos Teamwork harán referencia a módulos vinculados externos y Xref como redes estructurales, topografía y otras representaciones de los especialistas colaboradores. La documentación se almacenará en dos archivos de Libro de planos a fin de reducir el tamaño de los proyectos Teamwork y para permitir al equipo de documentación trabajar en paralelo a los diseñadores/arquitectos (Fig. 169).

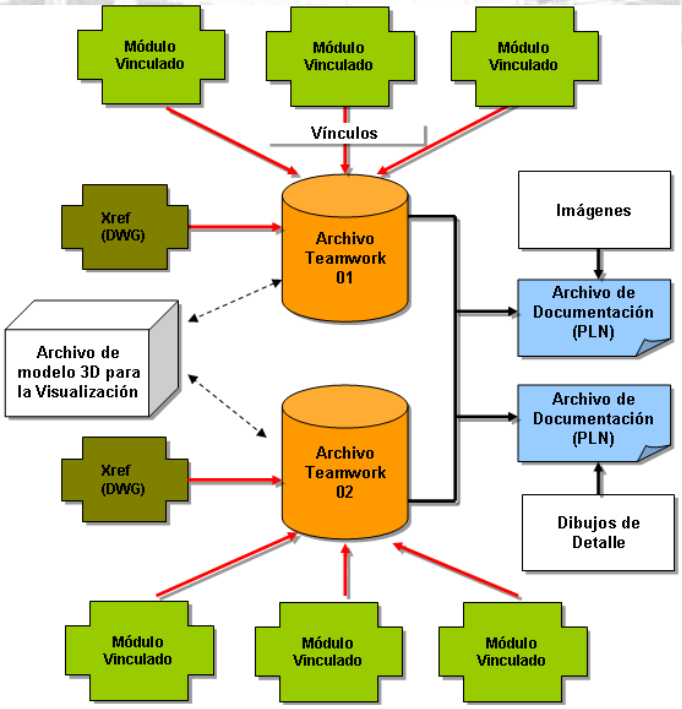
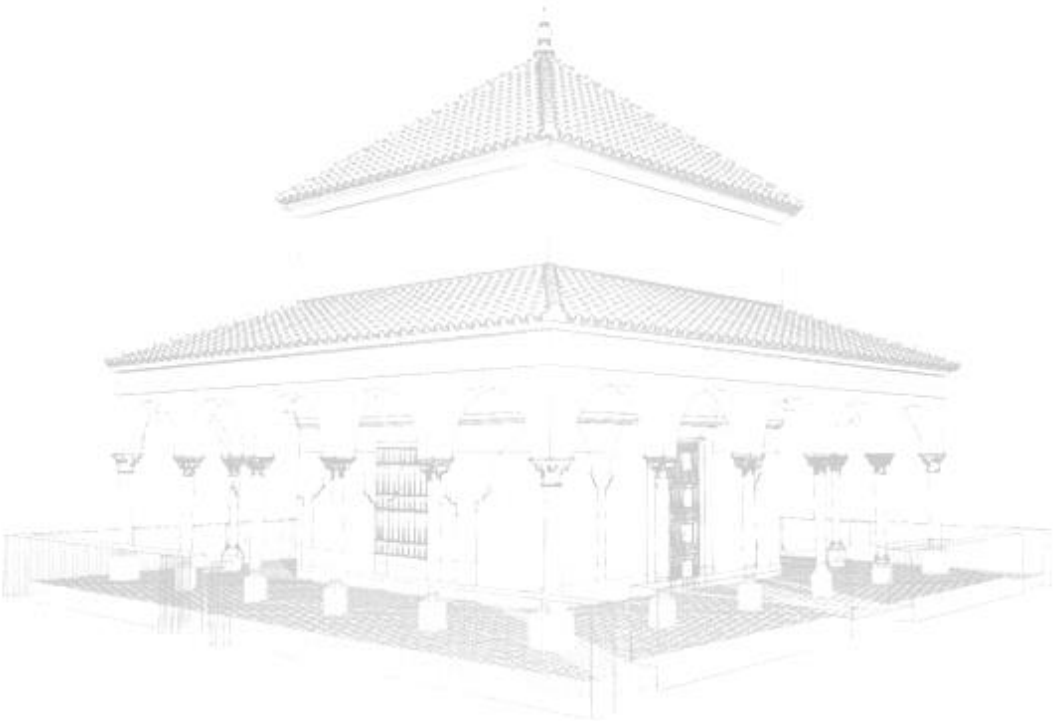


Fig. 169. Jerarquía de archivos de un proyecto de ArchiCAD.

Si lo trasladamos a la temática que estamos desarrollando, podríamos considerar que una intervención en el patrimonio histórico estaría enclavada en el conjunto de proyectos complejos, pues nos encontramos con las dificultades de una obra nueva y con otras peculiaridades propias de un edificio mutante en el tiempo que hacen que los agentes intervinientes se nos multipliquen: al arquitecto, aparejador e ingeniero en sus diferentes especialidades se les incorpora ahora el arqueólogo, historiador y restaurador.



6.2. Los equipos para el levantamiento geométrico del modelo

Algunos de los recursos que aquí presentamos incluyen el conjunto hardware y software al estar integrados en el propio sistema; es el caso del escáner láser C10 de Leica y del escáner portátil 3D de Artec, éste último con un software de procesado de datos muy efectivo que hemos explotado al máximo debido a su gran operatividad y eficacia. En cambio, la aplicación *Cyclone* de Leica la usamos parcialmente (para el acople de los estacionamientos y la obtención de la nube de puntos completa del Cenador de Carlos V), derivando las otras fases del proceso en aplicaciones más específicas.

6.2.1. Escáner Laser 3D

Poder disponer de la última tecnología en escáner láser ha sido un privilegio que no hemos querido desaprovechar en la fase de experimentación, introduciendo la tecnología más innovadora en el campo del levantamiento geométrico. Esto nos ha brindado la posibilidad de realizar una implementación conjunta de los dos sistemas tecnológicos, más efectivos creemos, en el área de la expresión gráfica en la edificación.

En el estado de la cuestión se ha expuesto que el escáner láser nos proporciona un modelo tridimensional de nube de puntos que nos permite su exploración virtual, con mayor o menor calidad en función de la exactitud de la información. Esta quedará circunscrita por la calidad del propio trabajo, afectado por errores de tipo instrumental (precisión de medida), de metodología aplicada en la observación y de la correcta distribución de las tomas. Teniendo en cuenta estos inconvenientes, García-Gómez et al (2011: 29-30) nos aconseja que para que el trabajo sea finalmente eficaz habría "que atender a dos cuestiones clave: la resolución y la reflectividad". El primer factor es congruente con la calidad de detalle o nivel de resolución, mientras que el segundo es inherente a las características de las superficies escaneadas (del porcentaje de luz absorbido por el material que lo compone y del que es reflejado, siendo éste último el detectado por el escáner para calcular la distancia) (Fig. 170).

En el uso del escáner láser que expondremos a continuación se han considerado tanto los condicionantes implícitos en las características del equipo como los demás factores pertenecientes a la tipología del edificio, su entorno más cercano y las condiciones atmosféricas en las sesiones de toma de datos. Creemos que todas han sido solventadas satisfactoriamente teniendo en cuenta que el trabajo de campo, con cinco sesiones de escaneo, y el post-procesado de la información ha estado respaldado por la gran experiencia en levantamientos del patrimonio arquitectónico del profesor doctor D. José Antonio Barrera, asquito al Departamento de Ingeniería Gráfica de la Universidad de Sevilla.

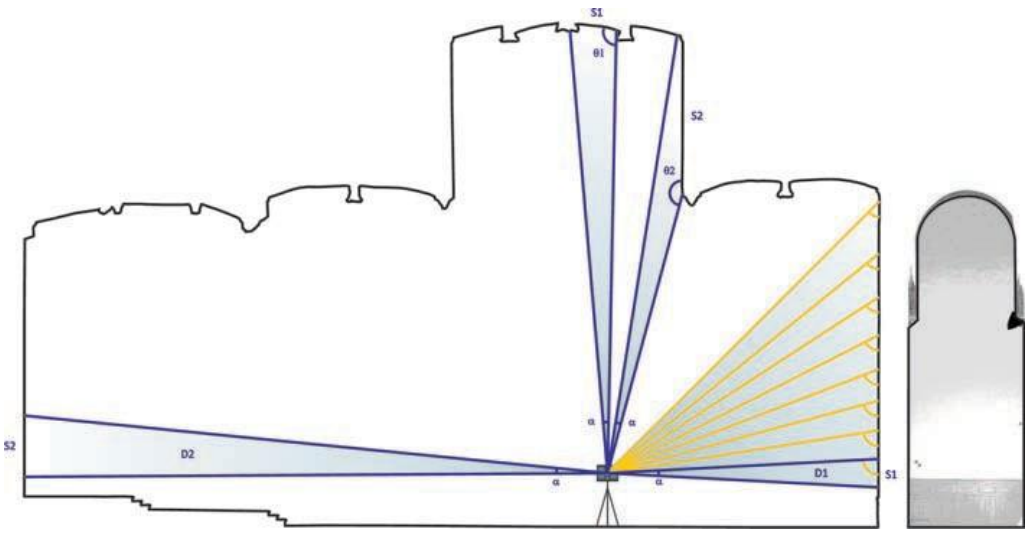


Fig. 170. Los haces en color azul muestran la resolución en función de la distancia y el ángulo de incidencia. Los de color amarillo muestran la reflectividad en función del ángulo de incidencia. La variación cromática de los puntos indica el nivel de reflectividad del paramento escaneado (Fig.4 de Rev. AA, 8, 2011:30).

6.2.1.1. Equipo Leica ScanStation C10

Hemos elegido el equipo de escáner láser ScanStation C10 de Leica para realiza los trabajos de levantamiento, aprovechado que es de propiedad compartida entre el departamento de Expresión Gráfica e Ingeniería en la Edificación y el departamento de Ingeniería Gráfica de la Universidad de Sevilla. Ya hemos comentado que este equipo emplea una medición basada en la tecnología de tiempo de vuelo, del tipo mejorado por digitalización de forma de onda o tipo WFD. Y son muchas las características comunes que hacen que cualquiera de estos equipos esté avalado para su empleo en cualquier tipo de levantamiento gráfico, ya que hablamos de la última tecnología en escáner láser.

Podemos citar entre las principales prestaciones las siguientes:

- Medición mediante pulsos láser. Al Utilizar como método de medición una fuente de energía generada por el propio equipo, lo convierte en un sensor activo. Esta característica marca una diferencia sustancial con la cámara fotográfica convencional, que como sensor pasivo registra la radiación reflejada en el sensor de la cámara.

- Coherencia del haz. La ventaja que tienen estos pulsos láser es el pequeño grado de divergencia del haz, pudiéndose localizar el reflejo del haz en los objetos durante el proceso de barrido.

- Medición a distancia. Estos escáneres no precisan del contacto físico con el objeto a medir, con lo que a la hora de trabajar sobre superficies delicadas, como es el caso de piezas arqueológicas o elementos arquitectónicos en estado de conservación muy deteriorado, ofrecen grandes ventajas.

En cuanto al equipo elegido para el escaneo, el ScanStation C10 de Leica, el rendimiento de su sistema de medición es muy aceptable, con una precisión y

adquisición de medida excelentes. En el cuadro siguiente podemos apreciar sus principales características.

Rendimiento del sistema	
Precisión de medida aislada	
Posición*	6 mm
Distancia*	4 mm
Ángulo (horizontal/vertical)	60 µrad / 60 µrad (12" / 12")
Precisión/ruido de superficie modelada**	2 mm
Adquisición de objetivo***	2 mm de desviación estándar
Compensador de eje doble	Seleccionable on/off, resolución 1", alcance dinámico +/- 5', precisión 1.5"

Sistema de escaneo láser	
Sistema eléctrico	Pulsado; microchip de propiedad
Color	Verde, longitud de onda = 532 nm visible
Clase de láser	3R (IEC 60825-1)
Alcance	300 m a 90%; 134 m a 18% albedo (alcance mínimo 0,1 m)
Velocidad de escaneo	Hasta 50.000 puntos/seg, velocidad instantánea máxima
Resolución de escaneo	
Tamaño de punto	De 0 – 50 m: 4,5 mm (basado en FWHH); 7 mm (basado en Gaussian)
Resolución	Horizontal y vertical totalmente seleccionable; espaciado mínimo de <1 mm, en todo el rango; capacidad de intervalo de punto único
Campo de visión	
Horizontal	360° (máximo)
Vertical	270° (máximo)
Puntería/visualización	Sin paralaje, vídeo zoom integrado
Óptica de escaneado	Espejo de rotación vertical sobre una base que rota horizontalmente; Smart X-Mirror™ gira u oscila automática-mente para lograr un tiempo de escaneo mínimo
Capacidad de almace-namiento de datos	Disco de estado sólido (SSD) integrado o USB externo
Comunicaciones	Dirección IP (Protocolo de Internet), Ethernet o adaptador externo WLAN
Cámara digital a color integrada con vídeo zoom	Imagen única 17° x 17°: 1920 x 1920 píxeles (4 Megapíxeles) Bóveda completa 360° x 270°: 260 imágenes; videocontinuo con zoom; ajustes automáticos según iluminación ambiente
Pantalla incorporada	Control de pantalla táctil con lápiz óptico, pantalla gráfica a todo color, QVGA (320 x 240 píxeles)
Indicador de nivel	Nivel de burbuja externo, nivel de burbuja electrónico en control incorporado y software Cyclone
Transferencia de datos	Dispositivo Ethernet, WLAN o USB 2.0
Plomada láser	Clase de láser: 2 (CEI 60825-1) Precisión de centrado: 1,5 mm a 1,5 m Diámetro de punto láser: 2,5 mm a 1,5 m Seleccionable on/off

Fig. 171. Características del Sistema de escaneo láser del equipo ScanStation C10 de Leica.

Pero es tan importante disponer de un rendimiento excelente del sistema de medición como disminuir al máximo los deslices *sistemáticos*, sean por motivos de su manipulación o por las características intrínsecas del levantamiento: afecciones de accesibilidad al lugar, condiciones ambientas, etc., que suelen variar en cada sesión. Según García-Gómez et al (2011: 31) "la *precisión* de un instrumento está asociada a la *apreciación* (la unidad de magnitud mínima que puede detectar) y la *exactitud* a la *calidad de la calibración*. Un instrumento puede ser muy preciso (medir en milímetros), pero a la vez inexacto si desvía todas las medidas un centímetro, debido por ejemplo, a la falta de verticalidad de su eje principal".

Tomando en consideración los errores habituales de la manipulación del escáner, hay otros que pueden ser corregidos desde el software del propio equipo o por aplicaciones específicas *ad hoc* en tareas de revisión e idoneidad del escaneo. Veamos ahora cuales de las que nos ofrece el mercado nos pueden ser útiles en el levantamiento geométrico del modelo.

6.2.1.2. Software Cyclone

Después de las sesiones de escaneo, el siguiente paso será convertir la nubes de puntos en un modelo 3D. Este proceso nos permitirá poder rescatar vistas ortogonales vectorizadas (alzados, secciones y axonometrías diversas), donde la exactitud geométrica de las mismas dependerá mucho del procedimiento previo de limpieza, filtrado y acoplado.

El fabricante Leica proporciona con su equipo escáner láser la aplicación Cyclone para que el usuario pueda administrar los datos de las bases de datos de manera eficiente y sacarle el mayor rendimiento a los proyectos. Es fundamental, por tanto, que en esta etapa utilicemos los módulos específicos del software del equipo, ya que Leica pone a disposición módulos individuales para diferentes necesidades, en las labores de procesado de datos:

- Cyclone-SCAN es la interfaz de software para controlar el propio equipo escáner y realizar las labores de configuración y captura de la información geométrica: designar la densidad de escaneo, marcar la zona a escanear, el filtrado de datos, el reconocimiento y la extracción de las dianas (Leica Geosystems HDS suministra dos tipos de dianas: planas y esféricas).

- Cyclone-REGISTER se usará en una segunda etapa, incorporando un grupo de herramientas para la alineación de las nubes de puntos escaneadas desde distintos posicionamientos. Este módulo es muy eficiente a la hora de detectar las dianas de Leica en la georreferenciación de los datos escaneados, e incluso en la alineación automática de las nubes de puntos por superposición de áreas sin la necesidad de utilizar dianas.

- Cyclone-MODEL es un módulo específico para transformar la nube de puntos ensamblada en objetos mallados y así poder ser exportarlos a aplicaciones de CAD/BIM, aunque también incorpora la opción de importación de datos de CAD, menos utilizada. En nuestra experimentación con los modelos expuestos en esta tesis no lo hemos usado, pues hay que reconocer que aunque disponga de un conjunto de herramientas completo que facilita el modelado 3D de las nubes de puntos, el mercado ofrece aplicaciones mucho más flexibles y con una funcionalidad superior.

6.2.2. El nuevo equipo Multiestación

Si nos movemos en el campo de las nuevas tecnologías, no debemos obviar mostrar los últimos equipos de medición avanzada que nos ofrece actualmente el mercado. Eso sí, con unos precios que no son nada asequibles, aunque este obstáculo no es un motivo justificado para ignorarlos, sabedores de que no tardarán en implementarse en el trabajo diario.

La MultiStation Nova MS50 de Leica nos proporciona una medición avanzada con alta precisión, agrupando en un solo equipo estación total, escaner 3D,

imágenes digitales y una conectividad GNSS[125]. Integra mediciones de nubes de puntos 3D permitiendo recopilar y visualizar los datos del sondeo topográfico junto con el análisis detallado de alta precisión.

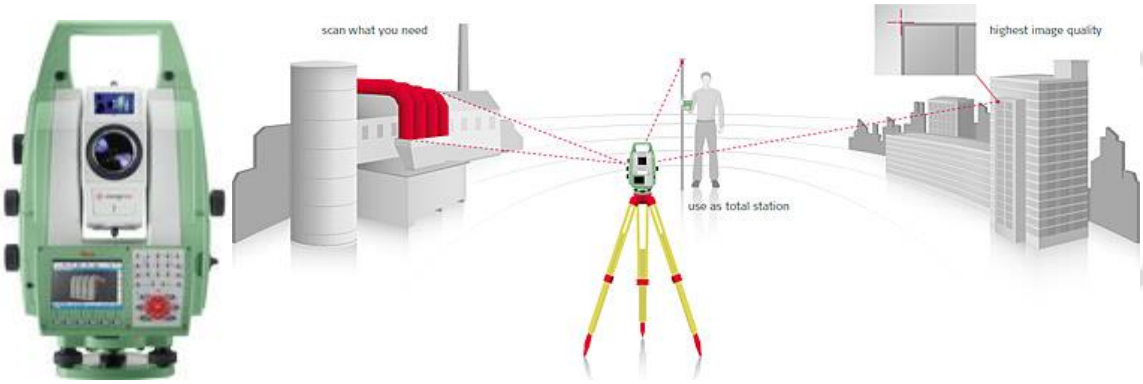


Fig. 172. Imagen del equipo y esquema de actuación de la MultiStation Leica Nova MS50. Leica Geosystems.

Una ventaja sustancial respecto al equipo de escáner láser expuesto anteriormente es que la comprobación de los datos relevantes se puede realizar desde el mismo equipo, y realizar las oportunas rectificaciones in situ evitando la posterior reelaboración y vuelta al sitio. Estos equipos fusionan las tecnologías más innovadoras mergeTEC®, para ofrecernos efectividad y flexibilidad en la manipulación de la información métrica y gráfica[126]:

- El hardware y software del equipo combina los datos, brindando imágenes sincronizadas con las exploraciones y éstas ligadas en las mediciones de la estación total.
- Nos posibilita acceder a los propios datos de forma fácil para manejar la nube de puntos en 3D.
- Incorporan una cámara panorámica y una cámara telescópica (con un aumento de 30x y enfoque automático).
- La tecnología de procesamiento de imágenes State-of-theart ofrece streaming de vídeo en directo de alta calidad de imagen.

6.2.3. El sistema de medición 4ARCHITECTS de Flexijet para ArchiCAD

Los principales fabricantes de equipos para el levantamiento geométrico en el sector AEC han ido abriendo en estos últimos años nuevas perspectivas dirigidas a una implementación en nuevos sistemas de representación gráfica, rompiendo la exclusiva aplicabilidad en los softwares de 2D, conscientes de que la precisión y eficiencia de la tecnología BIM iba a reemplazar los trabajos tradiciones en CAD. Aunque hay que apuntar que ha sido de manera algo cauta por la

[125] Acrónimo de GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM, Sistema Satelital de Navegación Global. Se define como el conjunto de tecnologías de sistemas de navegación por satélite que proveen de posicionamiento geoespacial con cobertura global y de forma autónoma.
[126] Video demostrativo de la Medición in situ de una edificación, escaneado y verificación en software de CAD: http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-Nova-MS50_103592.htm

tardanza en esta tan esperada implementación, sobre todo por parte de algunos usuarios BIM que llevan varios años algo desatendidos en esta especialidad.

Existen en el mercado aplicaciones como 4ARCHITECTS de Flexijet[127] que nos permite incorporar la precisión de la tecnología láser en el interfaz del software BIM, concretamente ArchiCAD, para transferirla de manera directa al modelo de información. No es precipitado afirmar que 4ARCHITECTS si es un novedoso y ventajoso sistema de medición por láser BIM, pues permite desde el mismo instante de la toma de medidas trasladar los datos al software de modelado, sin ser necesario los vigentes y engorrosos trabajos de interpretación y manipulación de la información.

Fig. 173. Equipo completo de 4ARCHITECTS Flexijet.

El sistema consiste en una Distanciómetro láser montado en un dispositivo giratorio motorizado que nos permite mover el láser, sea de forma manual o con el mando a distancia, hasta el punto de destino. El equipo completo no tiene un volumen excesivo ya que está pensado para su traslado cómodo hasta el tajo, concentrando todos sus elementos en una misma maleta: el trípode, una tabla inclinada para el pc portátil, que es soportada por el mismo tirador telescópico del equipaje, y el medidor de distancia láser Leica Disto.

Entre sus principales ventajas podemos destacar varias importantes:

- Se configura, activa y orientada en la habitación.
- Los sensores de inclinación realizan una función de calibración automática, con la posibilidad de girar e inclinar el láser con un mando a distancia por frecuencia.
- La medición se activa en el dispositivo láser presionando directamente una tecla en el portátil o a través del control remoto.

[127] Enlace a Flexijet: http://www.flexijet.info/en/produkte/flexijet-4architects/das-flexijet-4architects/

- Dispone de un puntero digital del medidor de distancia láser muy preciso: cuenta con zoom 4x y una alta resolución de 2,4 " de pantalla a color que facilitan una alta precisión en objetos alejados y con unas condiciones de iluminación más arduas.
- Los datos medidos se transfieren directamente a ArchiCAD de forma inalámbrica a través del sistema Bluetooth.

Durante la medición ArchiCAD crea un modelo tridimensional al mismo tiempo, como base de todos los planos del edificio: plantas, alzados y secciones.

6.2.4. El escáner 3D óptico

Los escáneres 3D ópticos nos permite obtener la forma de objetos con alta resolución y precisión. Son fáciles de manejar por sus pequeñas dimensiones y su peso, que no llega al kilogramo (Fig. 175). El proceso de digitalización es equivalente a manejar una cámara de vídeo que procesa imágenes en tres dimensiones. Solamente hay que circular alrededor del objeto y explorar desde varios ángulos para evitar zonas sin barrer, mientras que el software que lo corteja combina todas las imágenes escaneadas para obtener un único fotograma tridimensional.

Características del Escáner Eva Artec	
Dimensiones	261,5x158,2x63,7 mm
Peso	0,85 Kg
Captura de textura	SI
Resolución de textura	1,3 MP
Color	24 bpp
Potencia	12V, 48W
Interface	1 x USB 2.0
Fuente de luz	Bombilla tipo flash (sin láser)
Campo de visión	30 x 21°
Rango distancia de trabajo	0,4 - 1 m
Frecuencia máx. de captura	16 FPS
Tiempo de exposición	0,0002 s
Velocidad máx. adquis. datos	20.000.000 punto/s
Máx. Resolución 3D (Single frame mode)	0,5 mm
Máx. Resolución 3D (Multi frame mode)	0,5 mm
Máx. Precisión 3D (Single fr.m.)	0,1 mm
Máx.Precisión 3D (Multi fr.m.)	0,05 mm
Calibración	< 1 min. No requiere equipos especiales
Formatos de exportación	obj, stl, wrml, ascII, aop, csv, ply, E57**
Capacidad de procesado	40.000.000 triángulos / 1 Gb RAM
Procesador multi core	SI
Compatibilidad	Windows 7, Vista (64 bits)
Requerimientos mínimos	Intel Core Quad, 4 Gb RAM, NVIDIA Ge Force 9 (9xxx) series

Fig. 175.a) Características del escáner óptico Eva de Artec; b) Procedimiento de uso del escáner 3D, obtención de la malla poligonal y resultados del modelo tridimensional texturizado.

Para alinear los fotogramas contiguos el software procede a acoplar las características geométricas de cada área escaneada de forma automática. Después del proceso el usuario puede ver los fotogramas alineados en un único sistema de coordenadas, permitiendo evaluar el tamaño del área capturada y conocer que partes del objeto necesitan ser escaneadas de forma adicional[128].

El correcto alineamiento de los fotogramas en un único modelo es posible solo si los fotogramas escaneados tienen características geométricas bien definidas, evitando figuras puras que disponen de distancias constantes, como es el caso de una esfera. El algoritmo necesitara de puntos "picos" localizables en los fotogramas sucesivos para acoplarlos correctamente (Fig. 176). En los casos que no sea posible determinarlos, se obstará por incorporar objetos adicionales cerca del campo de visión del escáner 3D para que el algoritmo utilice los picos geométricos de los objetos auxiliares para el alineamiento de la escena, dejando para una fase posterior la eliminación de las referencias una vez escaneado el conjunto (Fig. 177).

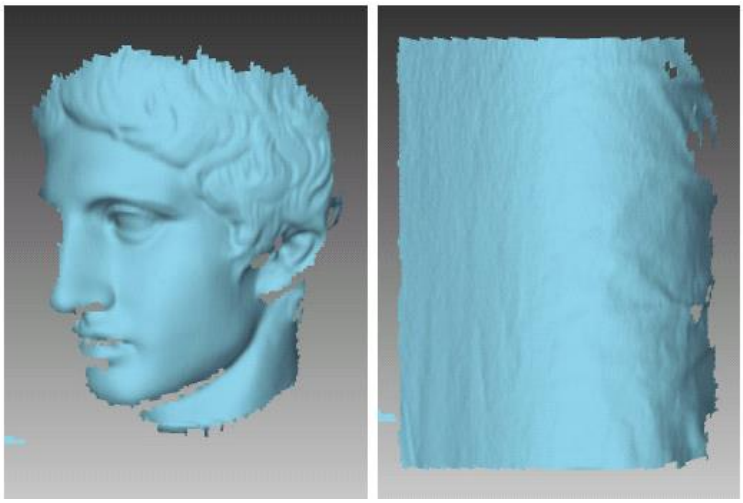


Fig. 176. a) Superficie con alto detalle; b) Superficie con bajo detalle

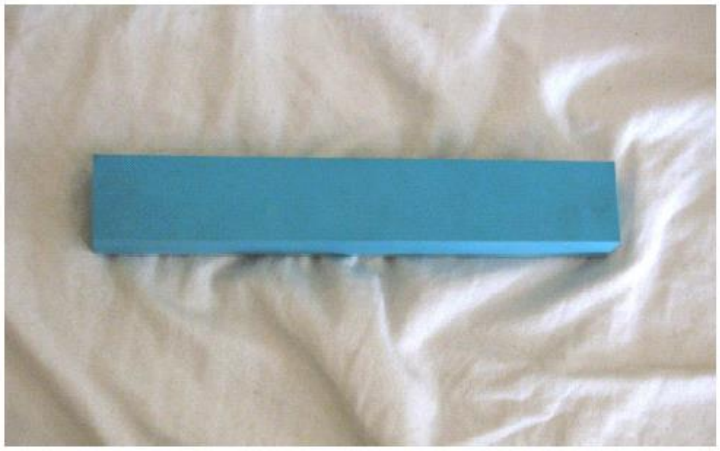


Fig. 177. Incorporar objetos adicionales para escanear elementos con geometrías puras

[128] El equipo utilizado en los trabajos de levantamiento de pequeñas piezas arquitectónicas, como capiteles de columnas, frisos de yesos y tallados de las hojas en las carpinterías del Cenador de Carlos V, ha sido el escáner portátil 3D de Artec, con una frecuencia media de captura de objetos de 15 fotogramas por segundo.

El escáner 3D tiene planos delimitadores de corte que determinan la distancia óptima entre el escáner y el objeto seleccionado. Si escanea un objeto manteniendo el escáner muy cerca de él, el objeto o algunas de sus partes no se capturarán. Cuando el escáner está muy lejos del objeto seleccionado, las interferencias entran en escena, complicando el procesado del modelo 3D y afectando al resultado. Por tanto, hay que colocar el escáner a una distancia correcta para que el objeto quede entre los planos. El Software del escáner 3D Artec dispone de un diagrama vertical de diferentes tonalidades en verde colocado en la parte izquierda de la ventana de vista 3D que nos facilita la correcta distancia, incorporando un histograma con la distribución de los puntos de superficie de las capturas con su correspondiente distancia al escáner: color verde para capturas previas y registrar fotogramas clave, el verde suave para los fotogramas recientes, el color rojo para los últimos fotogramas no registrados y el verde oscuro para los últimos fotogramas capturados correctamente. (Fig. 178).

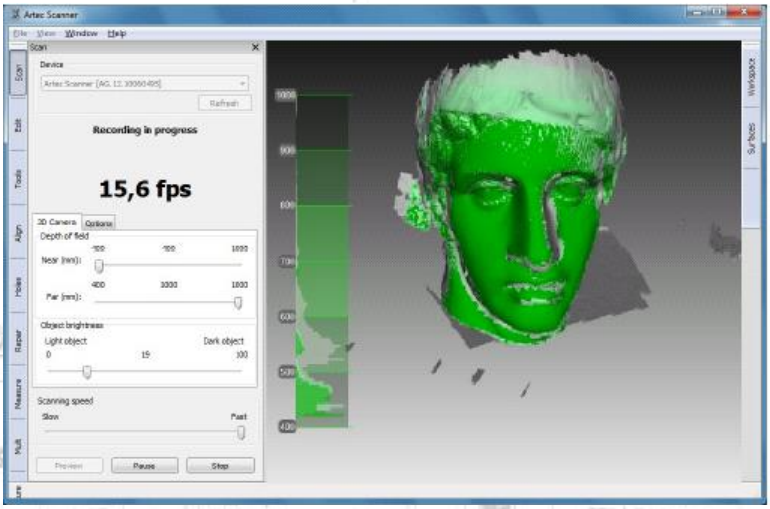


Fig. 178. Vista de la ventana principal durante el escaneado: los fotogramas "antiguos" están descoloridos, los últimos fotogramas escaneados son verdes

Cada escáner contiene unos límites máximos y mínimos del posicionamiento de los planos de corte que definirán su rango de profundidad recomendado para no ocasionar una pérdida de precisión (Fig. 179).

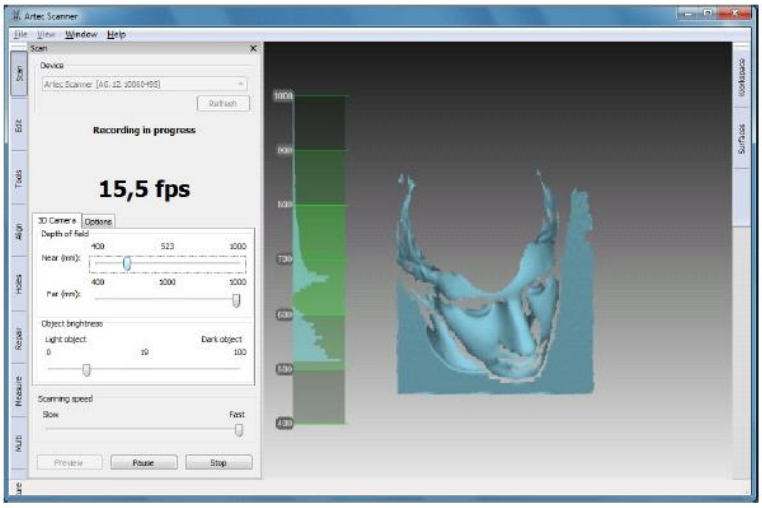


Fig. 179. Superficie cortada por un plano limite cercano

En el capítulo 8 de Implementación del Modelo de Información explicaremos el procedimiento seguido para el escaneado de algunas pequeñas piezas arquitectónicas del Cenador de Carlos V del Real Alcázar de Sevilla. Para la confección de los modelos se ha utilizado el escáner óptico 3D de Artec modelo MHT.

6.2.4.1. Preparativos de los objetos para el escaneo

Actualmente el escáner portátil 3D emplea un método óptico para digitalizar un área extensa de la superficie del objeto en un solo fotograma utilizando una fuente de luz intermitente para el escaneo y basado en el principio de la luz de las estructuras. Pero aún existen ciertos tipos de objetos difíciles de escanear por sus características físicas y color, entre los que podemos citar los objetos con materiales transparentes (vidrio, metacrilato o similares), objetos con superficies oscuras o que emplean colores muy oscuros, los materiales reflectantes y sobretodo texturas densas de filamentos (como es el cabello). En estos casos, habrá que emplear inventivas que nos puedan escudar para procesar tales objetos: para escanear un objeto con materiales transparentes u oscuros previamente debería ser rociado con una pintura clara o con polvos fáciles de quitar después de que finalice proceso.

6.2.4.2. El Proceso de filtrado

Los escáneres necesitan el uso de una serie de filtros después de la sesión de barrido para conseguir una alineación del modelo, estructurándolo y fusionando las partes que han quedado separadas y descuadradas. Después del escaneo de algunas elementos arquitectónicos del Cenador de Carlos V del Real Alcázar de Sevilla, se utilizó el filtro *rellenar agujeros* para completar las zonas no mallas, cerrando oquedades del modelo 3D, y empleando otros filtros para eliminar el ruido existente o pulir resaltes.

6.2.4.3. Postprocesado del escaneado

El Software del escáner óptico dispone de unas herramientas de edición –Alinear, Reparar, Agujeros, Editar- mediante las cuales se accede después del escaneo a la fase de postprocesado. Se conseguirá alinear el modelo en un plano con ejes X, Y y Z personalizado, así como con otro modelo; se reparará la superficie, eliminando duplicidad de vértices, conectando vértices o eliminando los no válidos; los huecos no mallados se podrán rellenar manualmente e incluso "cepillar" las irregularidades de las superficies y borrar elementos indeseados. El software del escáner Artec nos muestra un listado de las incidencias detectadas en el escaneo de la pieza. La figura siguiente muestra las localizadas en una sesión de escaneo sobre un cuarterón en la hoja Izquierda de la ventana norte del Cenador de Carlos V.

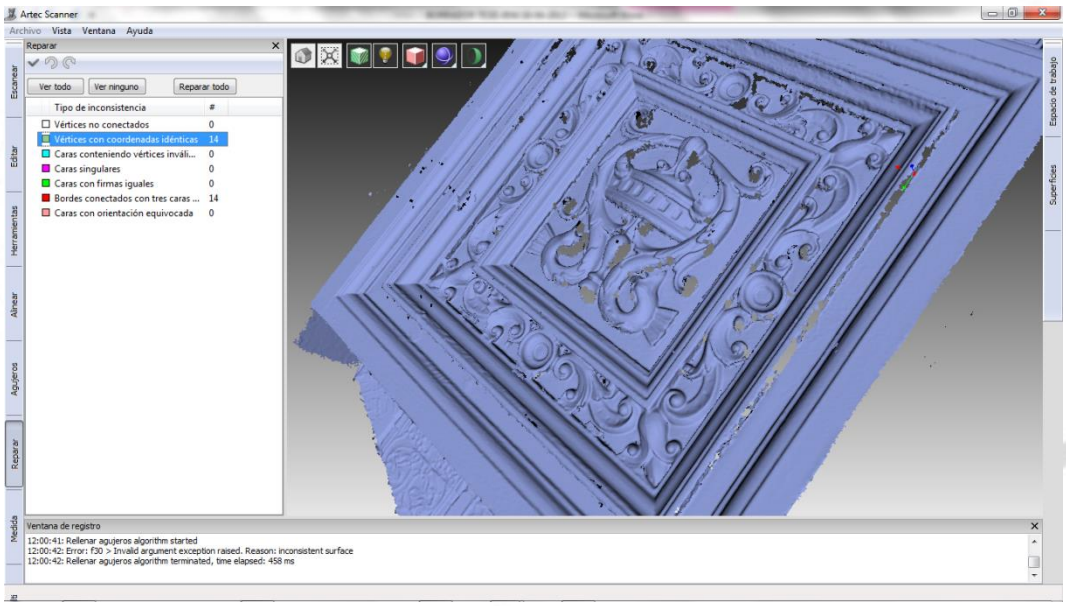


Fig. 180. Listado de incidencias a reparar: Vértices con coordenadas idénticas =14; Bordes conectados con tres caras…=14. Cuarterón superior de la hoja Izquierda de la ventana con orientación norte. Cenador de Carlos V.

6.2.4.4. Escaneando objetos con texturas

Los últimos equipos ópticos 3D suelen incorpora una cámara fotográfica que nos permitirá escanear capturando la textura del objeto[129].

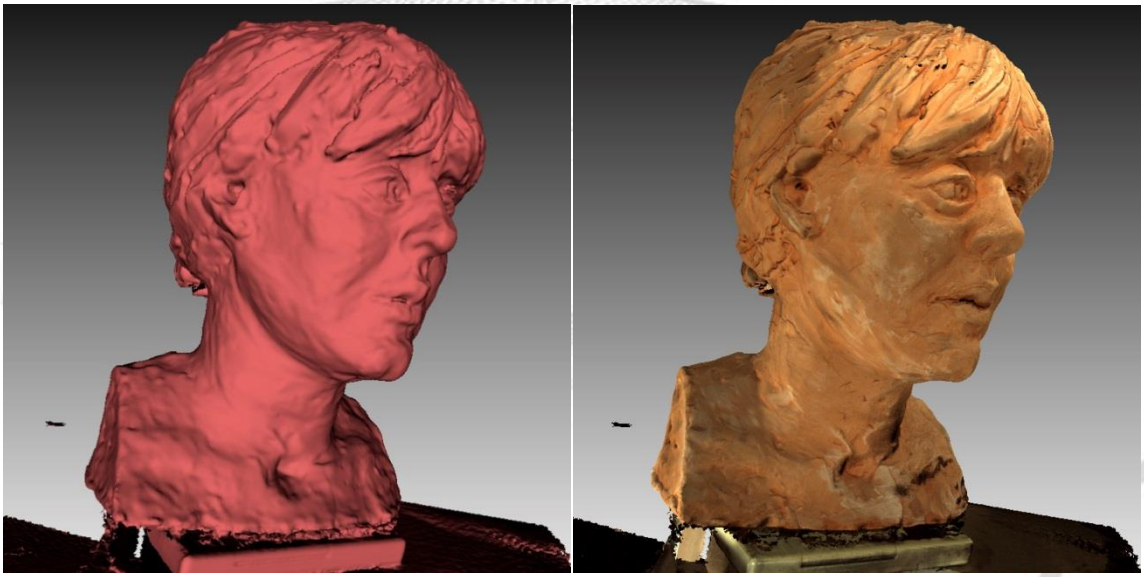


Fig. 181. Busto de una escultura sin texturizar y el mismo busto aplicando escanear con textura. Escaneo realizado en el laboratorio del Departamento de Expresión Gráfica e Ingeniería en la Edificación. Universidad de Sevilla.

Después de finalizar el alineamiento, el modelo 3D aún no ha adquirido las texturas. Hay que usar el panel de Textura para aplicarla al modelo 3D, eligiendo entre dos tipos de método de texturizado:

- Combinación de texturas aportadas in situ.
- Generación de mapa de triángulos.

[129] El software que gestiona el escaneado del modelo MHT del Artec 3D dispone de la pestaña Escanear textura, que cuando se acciona activa de forma periódica el flash para capturar la textura.

Usando el método de *combinación de texturas aportadas in situ,* el modelo tendrá tantos ".jpg" como el numero individual de fotogramas texturizados adquiridos durante el escaneo. Usando el método de *generación de mapa de triángulos,* toda la información de textura será transferida en una imagen cuadrada separada. El tamaño de los triángulos puede ser ajustado mediante la barra deslizadera.

6.3. Softwares específicos para manipular la información de equipos de medición

Los equipos de medición hasta ahora expuestos incorporan su propia aplicación para la interpretación de la información. Pero si es cierto que hay softwares más específicos para la manipulación de la nube de puntos y su transformación en superficies o elementos sólidos. Y que nos ayudará a obtener un producto mejor procesado, o de manera más fácil, que el ofrecido por el software de los equipos.

El primer producto que se pueden obtener de la medición del escáner (puntos espaciales) es el modelo TIN (Triangular Irregular Network). Reside en una aproximación de la superficie barrida a una malla poligonal formada por triángulos cuyos vértices son los puntos de la nube[130].

Si bien es un método viable en la representación geográfica tradicional al utilizarse vectores para unir coordenadas proyectadas en un plano, en la representación 3D se complica al coexistir puntos en el espacio que complican la identificación en una vista determinada. El procesado de superficies con irregularidades persistentes suele ser lento en cualquier software específico, siendo aún más difícil su manipulación en las aplicaciones BIM. Hay que decir que el sistema BIM se basa en elementos paramétricos, cuando el modelo TIN se sustenta en un patrón matemático no parametrizable[131].

El otro tipo de representación digital la constituye la superficie mallada, que en muchos casos es el siguiente paso a la obtención del modelo TIN. Las aplicaciones de modelado digital suelen optar por la malla para la representación de las superficies. En el caso del escáner 3D óptico, su software genera la malla directamente a partir de la nube de puntos.

Las mallas sigue un patón matemático conocido como NURBS ya que son muchas las ventajas en comparación con las superficies trianguladas. Las curvas y superficies NURBS son generalizaciones de curvas *B-splines* o *curvas de Bézier*[132]. Una curva NURBS se define por su grado, un conjunto de puntos de control ponderados, y un vector de nodos. Mientras que las curvas de Bézier se desarrollan en una sola dirección paramétrica, las superficies NURBS evolucionan en dos direcciones.

---

[130] Se suelen basar en el algoritmo de triangulación de "Delaunay" o del tipo "2D". Genera los triángulos al proyectar la nube de puntos sobre un plano, asignado a cada vértice el puntos más cercano.

[131] Léase lo expuesto sobre el modelo TIC en la tesis doctoral del profesor Barrera (2006: 181).

[132] Las NURBS son Bézier splines racionales no uniformes (del inglés non-uniform rational B-spline). El desarrollo de NURBS empezó en 1950 por ingenieros que necesitaban la representación matemática precisa de superficies de forma libre como las usadas en carrocerías de automóviles, superficies aeroespaciales y cascos de barcos, que pudieran ser reproducidos exacta y técnicamente en cualquier momento. Las anteriores representaciones de este tipo de diseños sólo podían hacerse con modelos físicos o maquetas realizadas por el diseñador o ingeniero. Los fundadores en esta investigación fueron Pierre Bézier (ingeniero en Renault), y Paul de Casteljau (en Citroën). Bézier y Casteljau trabajaron casi en paralelo, aunque ninguno de los dos conoció el trabajo que el otro desarrollaba. Bezier publicó primero sus trabajos y por esta razón tradicionalmente se le ha coligado a las splines de Bézier. El nombre de Casteljau es conocido por los algoritmos que desarrolló para la evaluación de superficies paramétricas. En la década de los años 60 se desarrollaron las NURBS, y se convirtieron en la generalización de las B-splines.

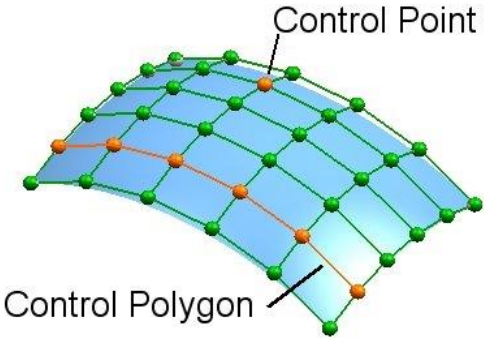


Fig. 182. La geometría de una superficie NURBS se sustenta en los nodos de control y en los vectores que cierran cada polígono.

Las ventajas de usar curvas y superficies NURBS en vez de las mallas trianguladas TIN son varias:

- Aportan mucha flexibilidad en el diseño de superficies onduladas y orgánicas, manteniendo la tipología de las superficies en transformaciones afines y en perspectiva: en operaciones de rotación y traslación en las curvas y superficies NURBS aplicándolas a sus puntos de control.
- Ofrecen una estructura matemática común para figuras analíticas estándar (por ejemplo, cónicas) y figuras de forma libre.
- Proporcionan flexibilidad para diseñar una gran variedad de figuras.
- Suelen usar algoritmos más sólidos en el procesamiento, con una reducción considerable de memoria en la obtención de los modelos con superficies NURBS[133].

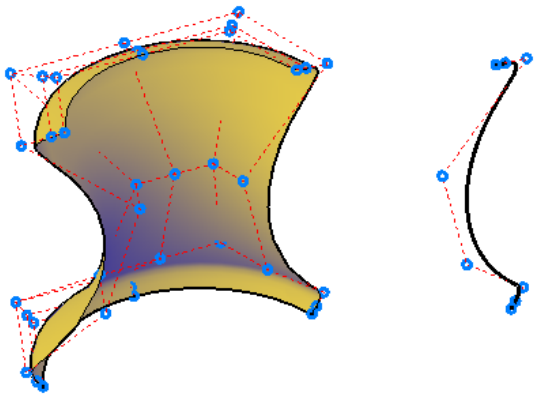


Fig. 183. Superficie NURBS. Imágen de Autocad Architecture 2012. Autodesk.com

Pasemos ahora a presentar las aplicaciones con las que hemos experimentado en el procesamiento y gestión de la información suministrada por los equipos de medición, conscientes de que la finalidad última va a ser su conversión a objetos geométricos. Aquí habría que puntualizar la dificultad añadida del patrimonio arquitectónico, con una geometría muy distante a las formas geométricas

[133] El principal referente de Bézier, B-Spline y NURBS es el libro de Les Piegl & Wayne Tiller: The NURBS Book. El libro NURBS cubre todos los aspectos racionales-splines B no uniformes necesarios para diseñar la geometría en un entorno asistido por ordenador. Léase los capítulos sobre representación matemática y la construcción de curvas y superficies, la interpolación, la modificación de forma y conceptos de programación.

básicas de cualquier arquitectura reciente y la existencia de deformaciones en el tiempo. Y a ello habría que añadir que las aplicaciones BIM habituales se sustentan en objetos paramétricos de construcción con formas preestablecidas simples. Por lo cual, tendremos que apoyarnos en otros sistemas de representación que permitan adquirir las peculiaridades del edificio histórico.

6.3.1. Rapidform

Rapidform (versión XOS/Scan) se comercializa actualmente como Geomagic XOS (al ser absorbido por la empresa 3D Systems). Es un software especialmente indicado para trabaja con los datos de los escáneres 3D a través del sistema LiveScan™ para la importación de archivos nativos. El sistema ofrece una captura de datos en tiempo real de los escáneres 3D directamente, permitiendo comenzar inmediatamente el procesamiento de datos. La captura y el procesamiento de datos en un entorno integrado ahorran tiempo y mejora la calidad.

➢ Características técnicas

Rapidform XOS/Scan también pueden abrir formatos de archivo de escáner 3D más nativos que cualquier otro software, y reconoce información adicional específica de cada escáner 3D. Aunque uno de los inconvenientes a la hora de exportar es que no contempla el formato de coordenadas espaciales .xyz.

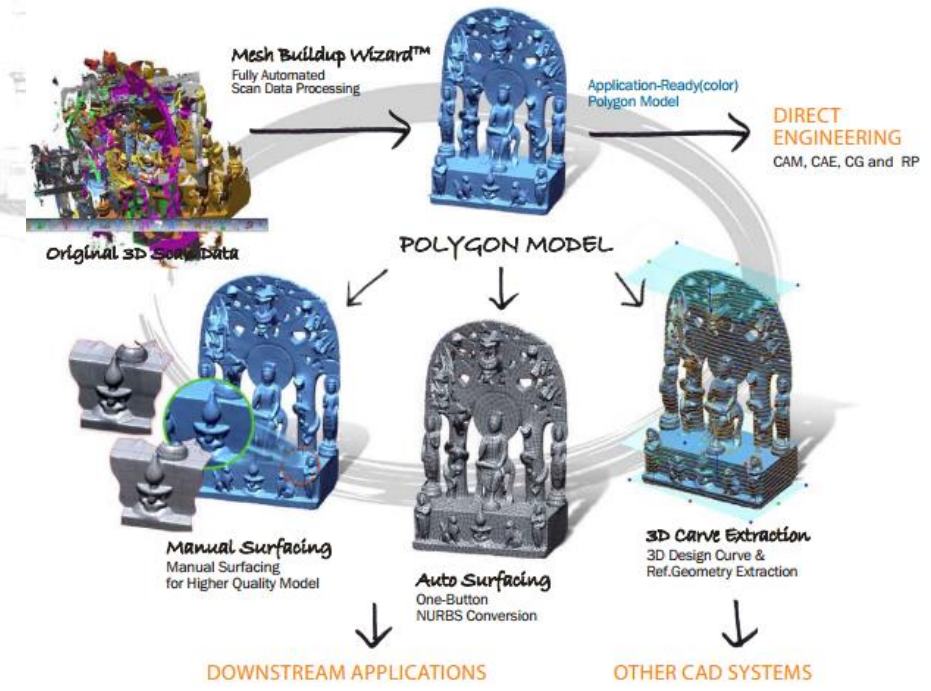


Fig. 184. Ciclo del procesamiento y gestión de datos en Rapiform. Fuente: Geomagic, 3D Systems, Inc.

Las funciones del programa están organizadas por bloques, mostrando el interfaz las órdenes oportunas para el trabajo en las pantallas siguientes:

- *Scan Workbench*: funciones relacionadas con la creación y ajuste o registro de nubes de puntos y su triangulación.

- *Polygon Workbench:* contiene las herramientas de manipulación de superficies trianguladas, ajustes de superficies, recortes, extensiones, suavizado, etc.
- *Color Workbench:* utilidades para la asignación, manipulación y ajustes de colores y texturas de las nubes de puntos y superficies.
- *Curve Workbench:* características avanzadas para la creación y manipulación de aristas del volumen generado y creación de curvas.
- *Surface Workbench:* comandos para la generación y modificación de superficies.
- *Polygon Workbench:* funciones de auditoría de los modelos obtenidos en relación con la nube de puntos original y/o con el modelo teórico.
- *Exchange Workbench:* para el intercambio de ficheros con otros formatos.
- *3D Imaging Workbench:* funciones para la producción de imágenes 3D a partir de los modelos generados.

➢ El procesamiento: alineación y fusión

Aunque el software no ha sido utilizado para la alineación de los escaneos 3D, si queremos mostrar las funcionalidad en estos casos. El sistema Mesh Buildup Wizard ™ convierte los tiros de escaneado 3D en modelos de malla completa en pocos pasos (cinco). Se empieza eligiendo el tipo de escaneo, después se elimina los datos no deseados antes de alinear los diferentes disparos de exploración; posteriormente busca el mejor ajuste a todos los análisis juntos y finaliza fusionándolos en una sola malla.

➢ Completar Mesh Optimization

Rapidform XOS tiene un conjunto completo de herramientas para sanar y optimizar cualquier malla. Sus algoritmos crean mallas de alta calidad que están listos para la impresión en 3D y otras aplicaciones. Entre sus prestaciones destaquemos:

- El asistente *Healing Mesh* encuentra y repara automáticamente los defectos.
- *Curvature intelligent* (Curvatura inteligente) rellena orificios para crear mallas herméticas.
- *Global remeshing* (Remallado Global) mejora la topología de malla.
- *Decimation* reduce el tamaño de los datos sin que la figura pierda su veracidad.
- *One button enhancement Works* es una función inteligente que suaviza la aspereza mientras afila detalles.

➢ Acoplamiento automático de conversión de superficie NURBS

Rapidform XOS tiene una potente funcionalidad *Auto Surfacing* para convertir una malla de polígonos en un modelo ligero de superficies NURBS a modo de *parches* para su uso en cualquier software de CAD. Esta tecnología de diseño nos permitirá elegir entre dos tipos diferentes de modelos de superficie, con más o

menos parches NURBS, en función de las características de definición y preservar el equilibrio entre exactitud y suavidad[134].

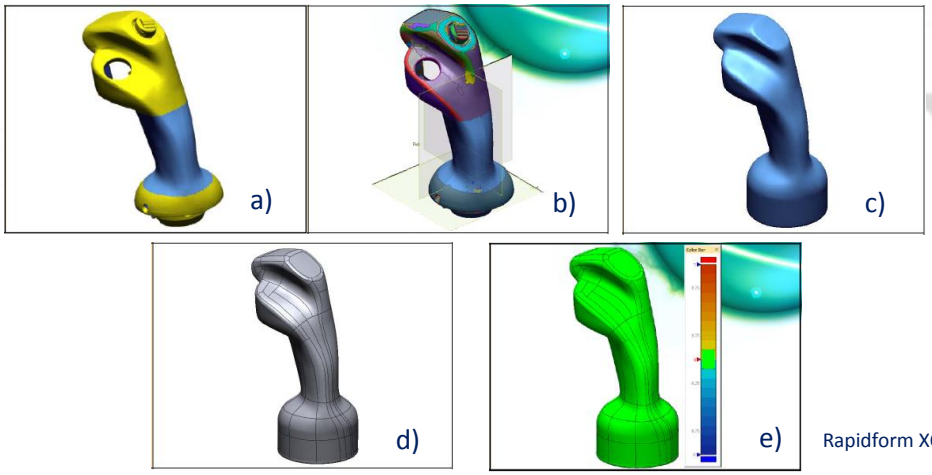


Fig. 185. a) Importar datos de escaneado; b) Alinear los datos de escaneo para diseñar el sistema de coordenadas; c) malla de edición; d) crea el cuerpo de forma libre; e) comprobación de los resultados.

6.3.2. MeshLab

MeshLab (CIGNONI, 2008; CIGNONI, 2008: 45-46), es un software de código abierto, portátil y extensible para el procesamiento y edición de mallas triangulares no estructuradas en 3D. La aplicación está destinada a ayudar a la elaboración de los típicos modelos que se plantean en la digitalización en 3D, que proporciona un conjunto de herramientas para la edición, la limpieza, la curación, la inspección, el procesamiento y la conversión de las mallas triangulares.

El software MeshLab comenzó a finales de 2005 como parte de la Fondamenti di Grafica Tridimensionale (FGT) en un curso de Ciencia de la Computación del departamento de la Universidad de Pisa, donde la mayor parte del código (~ 15k líneas) de la primera versión fue escrita por un grupo de estudiantes voluntarios. En años sucesivos los estudiantes de la FGT han continuado trabajando en este proyecto para incorporarle más características. El sistema se basa en gran medida en la biblioteca VCG[135], desarrollada en el laboratorio de computación visual de ISTI-CNR , para todas las tareas básicas de procesamiento de malla Está disponible para Windows , MacOSX y Linux.

MeshLab ha sido utilizado para la conversión de los archivos nativos del escaneado a un archivo de coordenadas .xyz (formato que no contemplaba el software Rapidform) y que era necesario para ser importado desde ArchiCAD.

[134] Acceso a demostraciones de Geomagic XOS: http://www.rapidform.com/products/xos/demonstrations-2/
[135] La visualización y gráficos Computer Library (VCG para abreviar) es un portátil de C + + biblioteca de código abierto con plantilla para la manipulación, procesamiento y visualización con OpenGL de triángulos y mallas de tetraedros. La biblioteca, compuesta por más de 100 mil líneas de código, es liberado bajo la licencia GPL, y es la base de la mayoría de las herramientas de software del Laboratorio de Computación Visual del Instituto del Consejo de Investigación Nacional ISTI italiana (http://vcg. isti.cnr.it), como de MeshLab. La biblioteca VCG está diseñado para manejar la mayoría de mallas triangulares.

6.3.3. Autodesk ReCap

ReCap[136] es una aplicación muy reciente de Autodesk® que convertirte los datos de un archivo procedente del escaneado (nube de puntos) y fotografías capturadas a un formato "propietario" (*RCS*) para ver y editar la nube de puntos en su propio interfaz (con ReCap® Pro) o ser importada en otros software de Autodesk: AutoCAD®, Revit® y Autodesk Inventor®.

Este proceso, denominado *indexación*, implica la importación de archivos procedentes del escáner a ReCap. En el inicio de este proceso se puede ajustar el número de puntos importados cambiando los parámetros de ruido, la distancia desde la cámara, intervalo de intensidad y valores diezmado. Posteriormente habrá que guardar los archivos indexados en un archivo de *proyecto de captura de realidad* (*RCP*) que actuará como referencia de los anteriores archivos.

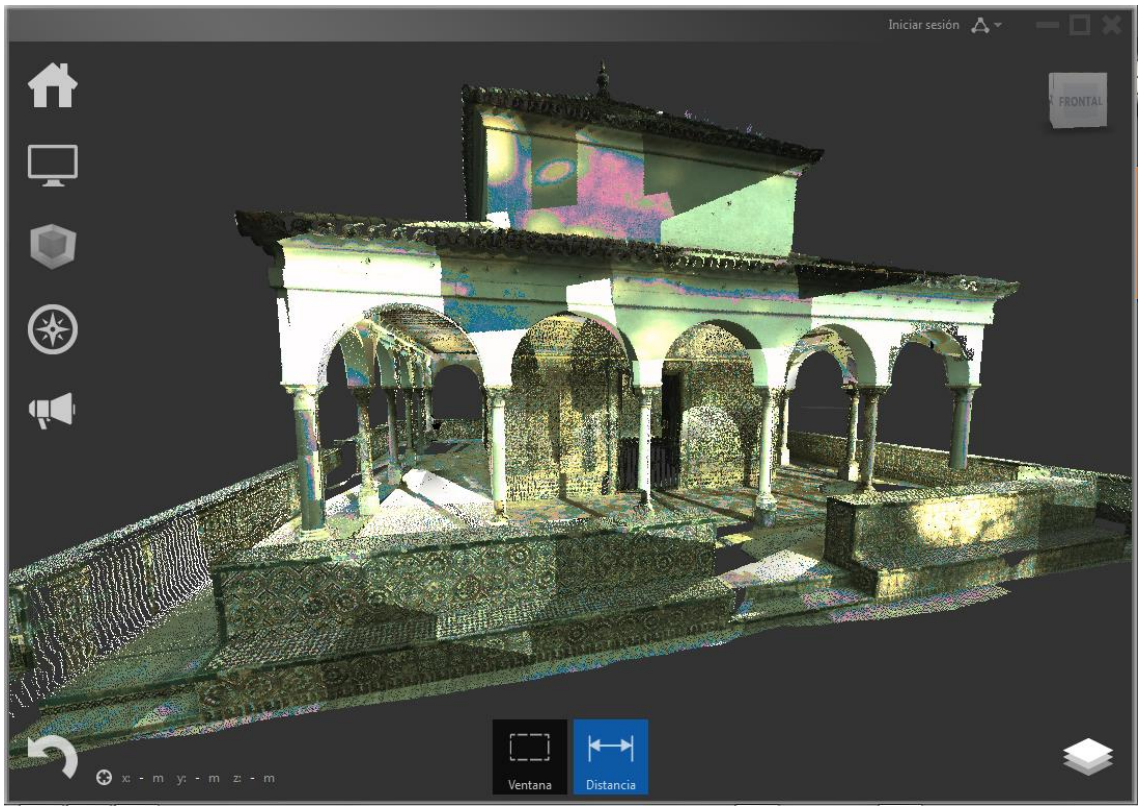


Fig. 186. Visualización de la nube de puntos del Cenador de Carlos V (en formato indexado rcs) desde el Interfaz de ReCap. Fuente: propio autor. Enero 2014

➢ Organización, limpieza y análisis

La aplicación nos permite organizar los datos indexados para eliminar u ocultar partes de la nube de puntos. Se crean regiones de exploración con posibilidad de activar y desactivar, regiones para la delimitación temporal, e incluso suprimir puntos no deseados de forma permanente. Aunque lo más destacado es la manipulación de la visualización de la escena utilizando diferentes modos de

[136] Enlace a las características : http://www.autodesk.com/products/recap/features/recap/all/gallery-view

color y de iluminación, que nos permitirá conocer elevaciones, normales (que ayudan a identificar las superficies) y su reflexividad.

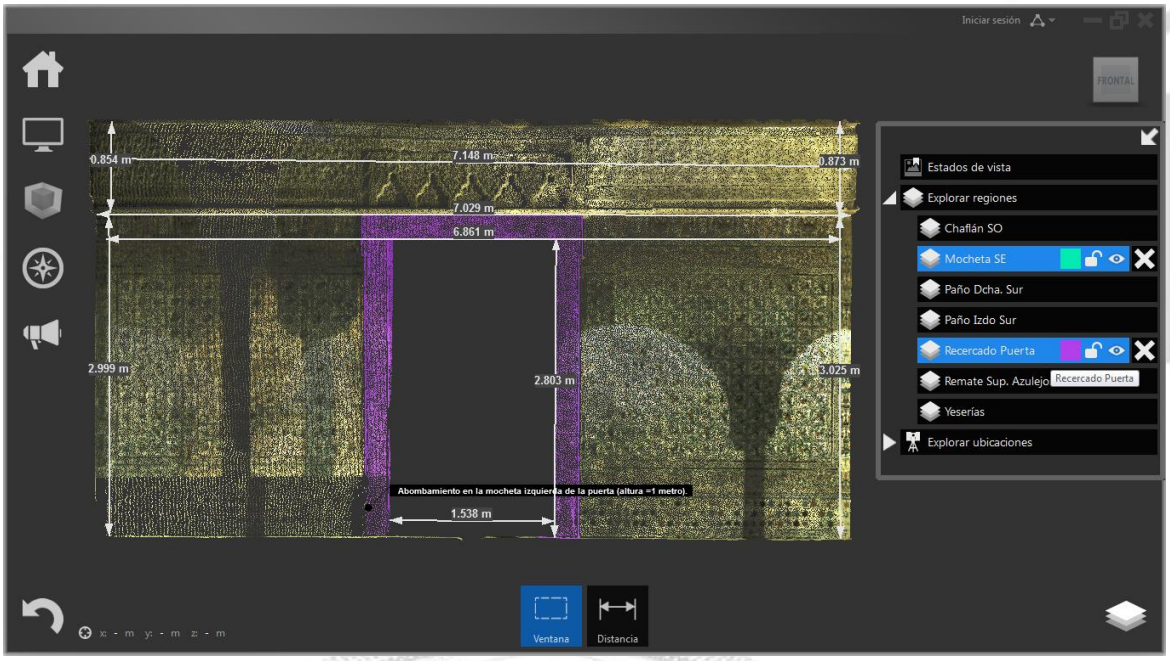


Fig. 187. Acotación directa sobre la Vista frontal de la fachada Sur tomada de la propia nube de puntos, con una captura de puntos muy precisa. La ventana de la derecha muestra las regiones de exploración creadas, con posibilidad de elegir un color característica para cada una, y activar o desactivar la región para su visualización, siendo el recercado de la puerta una de ellas. Fuente: Propio autor. Enero 2014.

➢ Características principales de ReCap Pro

Pensamos que es una aplicación, al alcance de cualquiera, muy interesante en el aspecto de que hace fácil la manipulación y gestión de la nube de puntos, empleando un interfaz sencillo, práctico y muy productivo.

Principales potencialidades:

- Es un software independiente del escáner láser 3D, con soporte para todos los datos basados en texto y formatos de archivo: ASC, CL3, CLR, E57, FLS, FWS, ISPROJ, LAS, PCG, PTG, PTS, PTX, SDR(Sólo para 3D), TXT, XYB, XYZ, SISTEMAS, ZFPRJ.
- Limpieza y organización de las nubes de puntos con herramientas sencillas.
- Anotar y compartir los datos de escaneo láser en ReCap® 360.
- Alineación de los datos: Crea modelos incorporados con la alineación del escaneo láser.
- Añadir puntos estratégicos (x,y,z) de estudio para mejorar la precisión de captura de la nube de puntos antes del procesamiento.
- Con sólo marcar unos cuantos puntos puede capturar una concentración de la nube para interpretar un plano. Esta posesión es idónea para crear paramentos y techos en un modelado de edificios existentes, aunque para el caso del patrimonio arquitectónico no es muy precisa debido a las habituales irregularidades presentes en la superficie.

- La visualización de datos fotorrealista 3D o panorámicas.

Solo destacar como principal inconveniente, pues es pronto una valoración bien contrastada de un software tan joven y con escasa experiencia en su uso, que para trabajar en condiciones idóneas en nuestro pc los requisitos exigidos al sistema son muy elevados[137].

Fig. 188. Adquisición de medidas directas sobre la nube de puntos. La imagen muestra la acotación en el muro Sur del Cenador en el interfaz de ReCap. Fuente: propio autor. Enero 2014.

[137] Las especificaciones del sistema recomendados: Microsoft ® Windows 7 64 bits; 2,0 GHz 64-bit (x64); 8 GB RAM; 1600x1050 o superior Color verdadero; OpenGL 3.3 tarjeta gráfica (1 GB); Espacio libre en disco 20 GB +; Especificaciones mínimas: sistema de 64 bits Microsoft ® Windows 7; 2,0 GHz ; 4 GB RAM; 1280x1024 con color verdadero; OpenGL 3.3 en tarjeta gráfica compatible con 256 MB de memoria; Espacio libre 10 GB +.

6.3.4. El asistente Nube de Puntos de Revit

Autodesk Revit Architecture es una aplicación BIM que actualmente dispone de la herramienta *PointCloud*, incorporada en propio software, para la manipulación de la nube de puntos en el espacio 3D, aunque la información se utiliza como referencia en lugar de incrustar el archivo. Revit manipula un subconjunto de puntos limitado para la visualización y la selección en un momento dado, consiguiendo así optimizar la eficacia y el rendimiento.

La aplicación inicia automáticamente una herramienta de indexación del archivo nativo del escáner para transformarlo en formato *.pcg* indexado (en versiones Revit 2012 y 2013). La nueva versión 2014 utiliza los formatos indexados *.rcp* y *.rcs* (que utiliza Autodesk® ReCap). De esta forma se consigue una vinculación directa al proyecto BIM que nos proporcionará referencias cuando se editan o ubican elementos de modelo.

Fig. 189. Escaneado de una fachada en el interfaz de Revit, insertado con el asistente *Point Cloud*. Fuente: http://www.architectsjournal.co.uk/Pictures/web/z/n/j/Part-6---revit-scan-impor_360.jpg

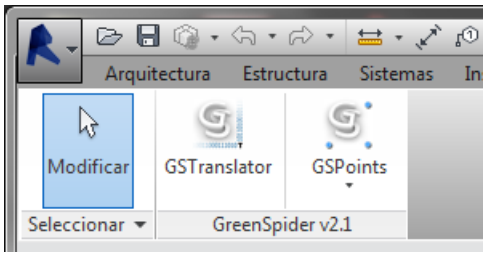
Aunque el software ReCap lo percibimos muy productivo en la gestión de la información del escáner láser, al final apostamos por emplear el asistente *Point Cloud* de Revit. Éste trabaja de modo muy similar a su homólogo, pero con la ventaja que se gestiona la información directamente en la aplicación BIM, adaptando los elementos constructivos paramétricos a las referencias de la nube de puntos. En el capítulo 8 de Implementación del Modelo de Información expondremos la metodología seguida y los resultados obtenidos al manipular la información procesada del escaneo del Cenador de Carlos V.

➢ GreenSpider. El plugin de nubes de puntos para Revit

Debemos mencionar el API GreenSpider, un plugin gratuito para Autodesk Revit desarrollado por Simone Garagnani. Este tipo de aplicaciones, aunque todavía están en sus primeras fases de experimentación, actúan como una pequeña pieza de código desarrollado para reducir la brecha entre el concepto de diseño computacional, el escaneo láser terrestre y Building Information Modeling.

GreenSpider analiza convenientemente archivos de texto ASCII que representan puntos 3D, ya sea generado por el software de modelado computacional o equipo de escaneo láser terrestre.

La versión 2.1, permite ejecutar dos comandos identificadas por dos diferentes iconos desplegables en Revit 2013 y2014 en el menú de complementos: *GSpoints y GScurves*.



La primera de ellas, simplemente importa puntos de la nube como puntos de referencia en el entorno de modelado en masa, mientras que el segundo traza una *spline* por interpolación entre los puntos importados ordenados a través de un proceso de TSP, con el fin de construir las superficies después de la importación recursiva de archivos *.gsp (GreenSpiderPoints)*[138].

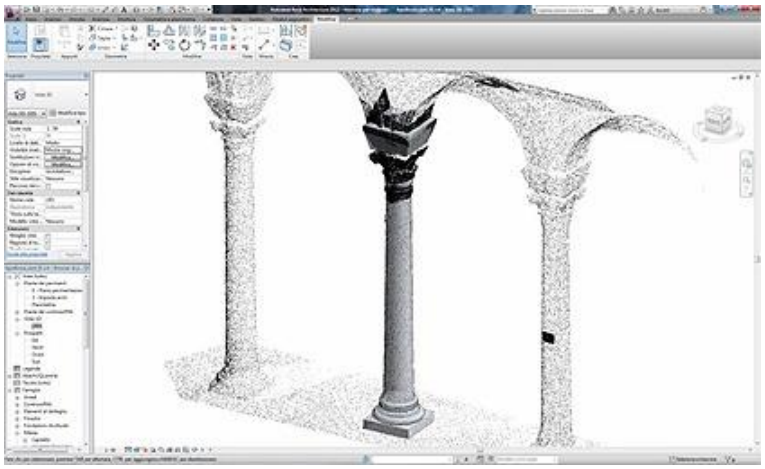


Fig. 190. Modelado de una columna teniendo como referencia la nube de puntos insertada con el API GreenSpiderPoints para Revit. Fuente: http://www.tcproject.net/pivotx/images/2012-11/gst2.jpg

El formato .gsp es básicamente un formato de archivo de texto ASCII donde XYZ son valores numéricos, en forma de matriz, y que representan las coordenadas en el espacio (separados por un punto y coma, mientras que las comas se utilizan para los decimales).

6.3.5. Cadimage Point Clouds para ArchiCAD

Cadimage *Point Clouds* es un complemento gratuito que nos permitirá importar un archivo de nube de puntos en formato XYZ desde un proyecto de ArchiCAD[139]. Se ha presentado recientemente en su versión Beta, al estar en una etapa de experimentación y prueba por usuarios especializados que necesitan una información geométrica precisa del edificio. Conocido

[138] GreenSpider se introdujo por primera vez en mayo de 2012. La matemática detrás de su algoritmo de clasificación se basa principalmente en TSP, un caso muy destacado en la optimización combinatoria estudiado en la investigación de operaciones y ciencias de la computación teórica.
[139] El add-on Point Clouds de Cadimage está disponible para ArchiCAD 16 y ArchiCAD 17 (sistemas Windows y Mac) en versión Beta: www.cadimage.com / PointClouds.

El add-on de Cadimage nos importará la nube de puntos y creará un objeto dentro de ArchiCAD que describirá la geometría escaneada del edificio por las coordenadas espaciales de los puntos según la resolución del escáner láser.

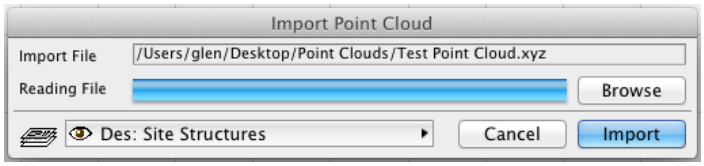


Fig. 191. Ventana de importación de Point Cloud. La nube de puntos se inserta en ArchiCAD como objeto *gsm*.

La ventaja que podemos tener con la inserción de estos archivos en un proyecto BIM, una vez procesados y ensamblados, es que nos permite una visualización exacta de las geometrías del edificio en el espacio tridimensional para tomarlo como referencia en el proceso de modelado.

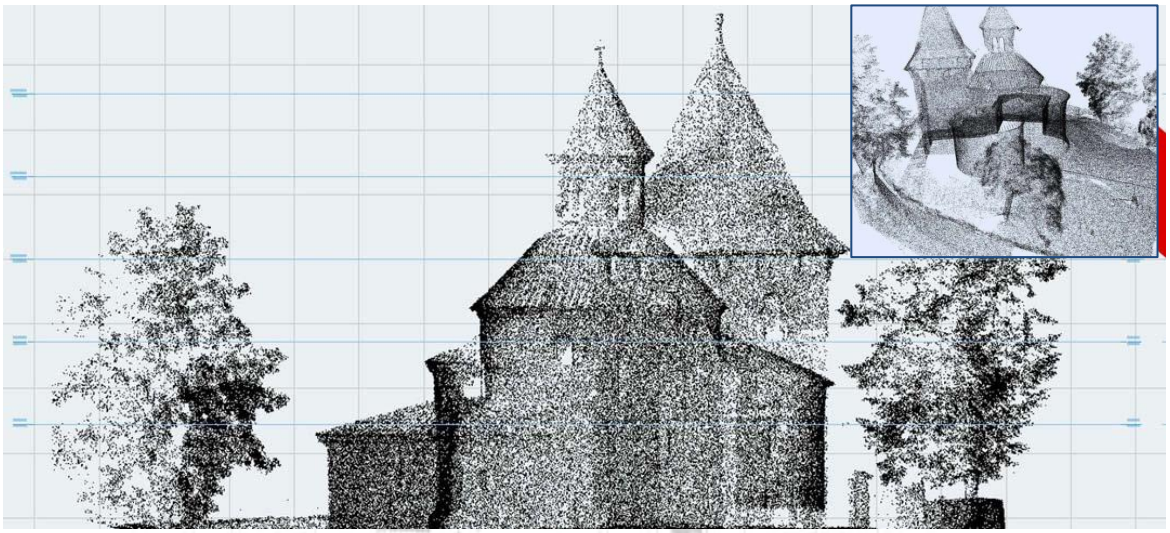


Fig. 192. Alzado de la nube de puntos procedente de un escáner desde el interfaz de ArchiCAD.
Fuente: www.cadimage.com/PointCloud

En el desarrollo de la tesis, lo hemos empleado en la fase de la implementación del modelo del Cenador de Carlos V para contrastarlo con los resultados obtenidos anteriormente desde el software Revit.

6.4. Manipulación de la imagen digital

Dentro del amplio campo de tratamiento o manipulación de la imagen digital, tendremos que posicionarnos primeramente en el hecho edificatorio, y más concretamente en la representación del patrimonio histórico: arquitectónico y arqueológico. Además, habría que incorporar un componente primordial, como es la geometría propia del edificio, fundamental para que el sistema fotogramétrico nos sea práctico, sencillo y efectivo a la vez. Es ahora cuando deberíamos pensar cual sería la aplicación más idónea para implementarse en el proyecto de intervención.

En este apartado no pretendemos realizar un análisis comparativo de todas las aplicaciones más utilizadas y avaladas por los profesionales del patrimonio, sino centrarnos en las características fundamentales y más ventajosas de cada una para adaptarse a nuestras necesidades. Dejaremos apartado los sistemas de restitución estereoscópicos, bien contrastado en el sector y que han proporcionado trabajos excelentes en los última década[140], pues creemos que las aplicaciones monoscópicas (hoy en día muy asequibles) nos proporciona resultados igual de satisfactorios.

6.4.1. El software ASRix

ASRix es un software de rectificación que lleva más de una década asistiendo a los profesionales del levantamiento fotogramétrico. Su gran difusión es consecuencia de ser una aplicación fácil de manejar y que proporciona unas posibilidades enormes en la obtención de la documentación métrica del edificio, sobre todo en el campo patrimonial. Para consumar la rectificación fotográfica de un lienzo o pavimento, además de disponer de la imagen digital en perspectiva del elemento, hay que conocer las coordenadas x,y de 4 puntos visibles en la toma.

[140] El sistema estereoscópico VSD (Vídeo Digitalizador Estéreo), producido por el Department of Photogrammetry and Remote Sensing Informatics de la Universidad AGH de Cracovia (Polonia) (Jachimski,1995) ha sido empleado por el EEA-CSIC durante más de diez años como un sistema de bajo coste, pero efectivo al proporcionar una alta calidad en la documentación gráfica del Patrimonio Arquitectónico. Es un estereorrestituidor concebido para la producción de dibujos vectoriales a partir de pares de imágenes fotogramétricas digitales stereopares u ortoestereopares (Almagro, 2003).

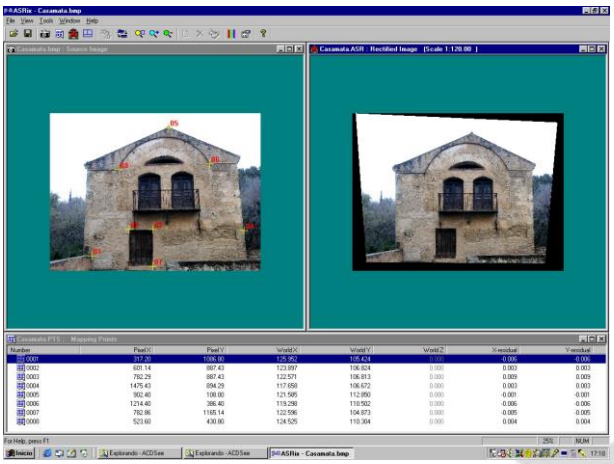


Fig. 193. Rectificador de imágenes planas. Fuente: Antonio Almagro (2003).

Sólo hay que obtener la situación exacta de esos puntos, sea mediante una triangulación del área medida con un flexómetro, o por asistencia de cualquier equipo topográfico.

La imagen rectificada obtenida será una proyección frontal sobre la que podremos tomar medidas. La limitación de la aplicación está en que su aplicabilidad va dirigida a elementos superficiales sencillos, como son las fachadas de un edificio, descartando una medición de las profundidades de huecos, salientes y molduras (a no ser que manipulemos otra imagen tomada por su costado).

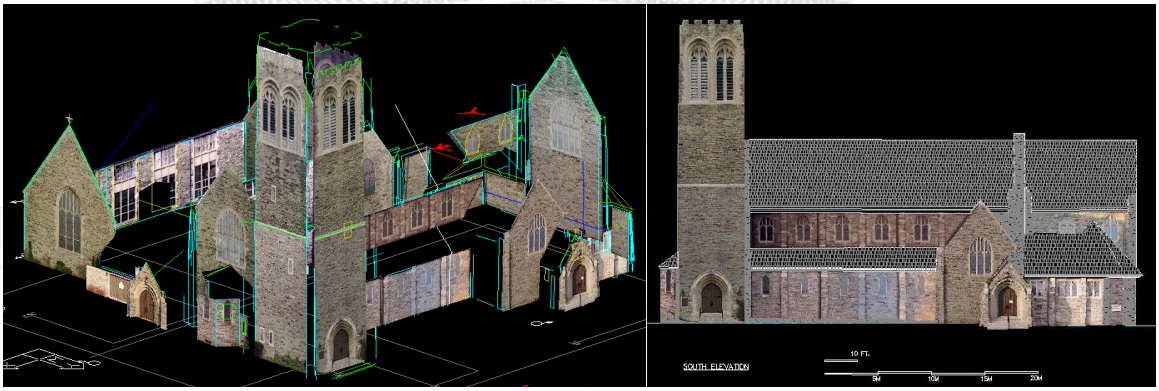


Fig. 194. a) Montaje axonométrico del modelo en base a imágenes tomadas del lienzo de las fachadas y restituidas con ASRix; b) Vista frontal de unas de las fachadas. Fuente: ASRix - Digital Image Rectifier v2.

En el proceso de ajuste de la ortofoto del pavimento interior del Cenador fueron necesarias tomar las coordenadas (visibles en todas las tomas) de sus cuatro esquinas, que se pasaron a ASRix para su procesamiento.

6.4.2. El asistente Homograf

Mencionemos también el programa Homograf[141], que se instala como API en el software AutoCAD. La última reedición del manual, que incluye el software, está indicada para versiones de AutoCAD posteriores a la 2002. Es una herramienta que se apoya en una sencilla transformación homográfica, necesariamente de

[141] Desarrollado por el Prof. Ramón Maestre de la Universidad de Alicante.

cuatro puntos localizados en la imagen, facilitando la realización de levantamientos gráficos de paramentos planos así como el trazado de todo tipo de proyecciones y perspectivas de una figura plana sobre un plano. Por tanto, es de gran utilidad en el dibujo tradicional o vectorizado, al igual que su semejante ASRix, pero no está pensada para trabajar en un espacio 3D.

Por sus características restrictivas, enfocada a una representación vectorial bidimensional, han determinado que hayamos considerado la técnica de restitución poco productiva para aplicarla al modelo de información 3D.

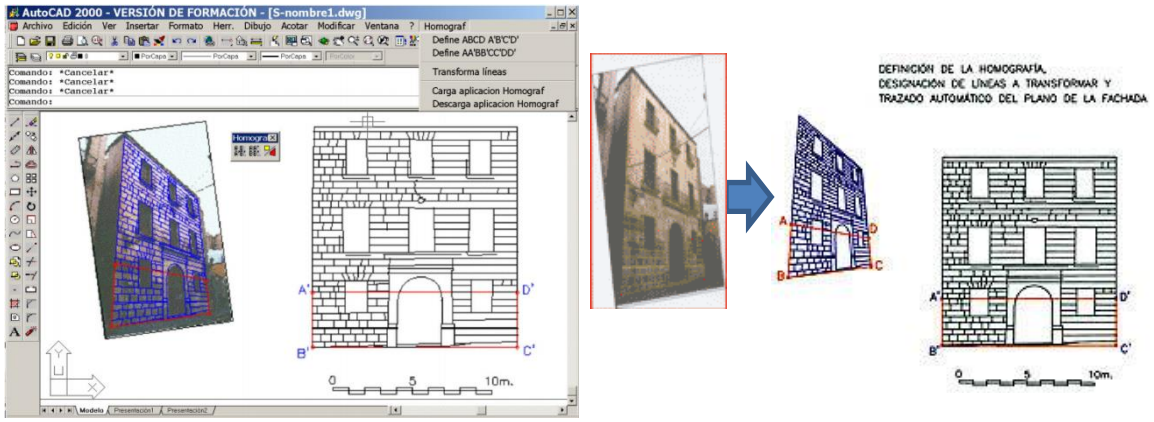


Fig. 195. Procedimiento de Homograf para la transformación de una imagen en persepctiva a vista ortogonal.

6.4.3. AgiSoft PhotoScan

PhotoScan es un Software de la empresa rusa Agisoft[142] para la manipulación de la imagen, que se podría englobar dentro de las aplicaciones de fotogrametría monoscópica convergente. Aunque podemos afirmar que más bien es una aplicación de modelado 3D a partir de fotografías (image based modeling). Permite generar ortofotos, modelos digitales de elevación y mallas trianguladas texturizados. Y proporciona un flujo de trabajo totalmente automatizado que permite al usuario poco experto procesar las imágenes en su ordenador pc para producir datos fotogramétricos con calidad profesional.

[142] Acceso a los tutoriales en la web de Agisoft: http://www.agisoft.ru/tutorials/photoscan

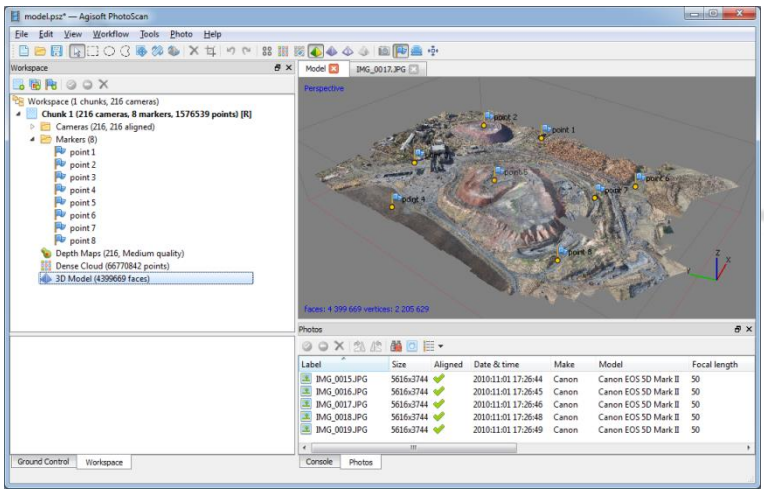


Fig. 196. Proceso de interpolación para la reconstrucción de la malla.
Fuente: Tutorial para Ortofotos y Generación de DEM. Agisoft PhotoScan.

➢ Características principales

- Configuración del sistema de coordenadas.
- Triangulación aérea y de corto alcance.
- Generación de nube de puntos (escasa o densa).
- Generación de modelos poligonales (mallado o con textura).
- Generación del Modelo Digital de Elevación (DEM).
- Obtención de ortofotos georreferenciadas de alta resolución (hasta 5 cm exactitud con la BPC)
- Georreferenciación mediante registro y / o GCP vuelo.
- Procesamiento de imágenes multiespectrales.
- Reconstrucción 4D para escenas dinámicas.
- Formatos de importación: JPEG, TIFF, PNG, BMP, JPEG Formato Multi-Cuadro (MPO).
- Formatos de salida: GeoTIFF, xyz, ASPRS LAS, Google KMZ / KML, COLLADA, VRML, OBJ, PLY, 3DS, FBX, Universal 3D, PDF, etc.

➢ La reconstrucción del patrimonio

De su amplia lista de utilidades destaquemos su idoneidad para aplicarse al campo patrimonial, arqueológico y arquitectónico, debido a que la vertiginosa evolución de la fotografía digital nos proporciona hoy en día modelos tridimensionales muy precisos, con costes enormemente bajos y tiempo de procesado mucho menor que el derivado de un escaneo.

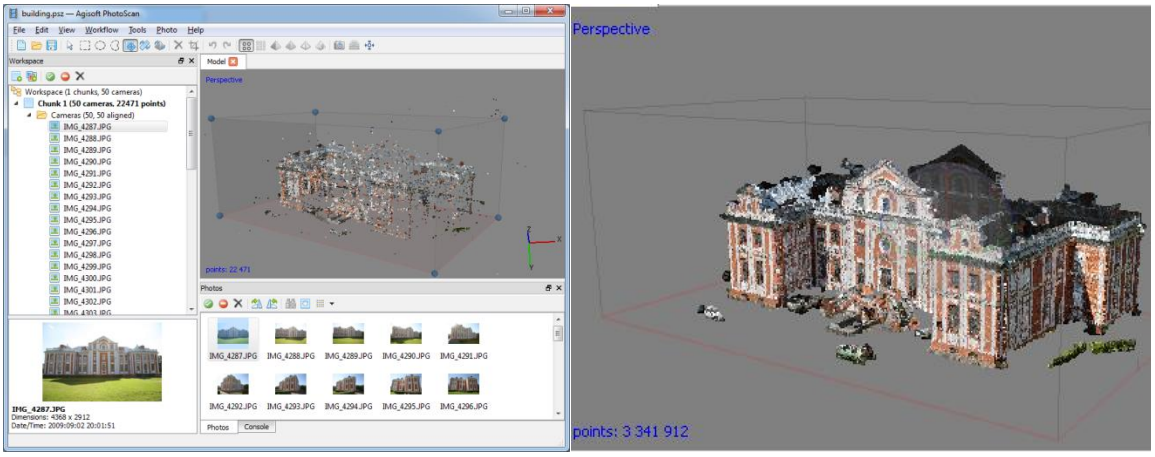


Fig. 197. a) Orientación de la caja para encajar el objeto una vez finalizada la alineación de la foto; b) Construcción de la nube de puntos densa estableciendo el tipo de Calidad y la profundidad de Filtrado.

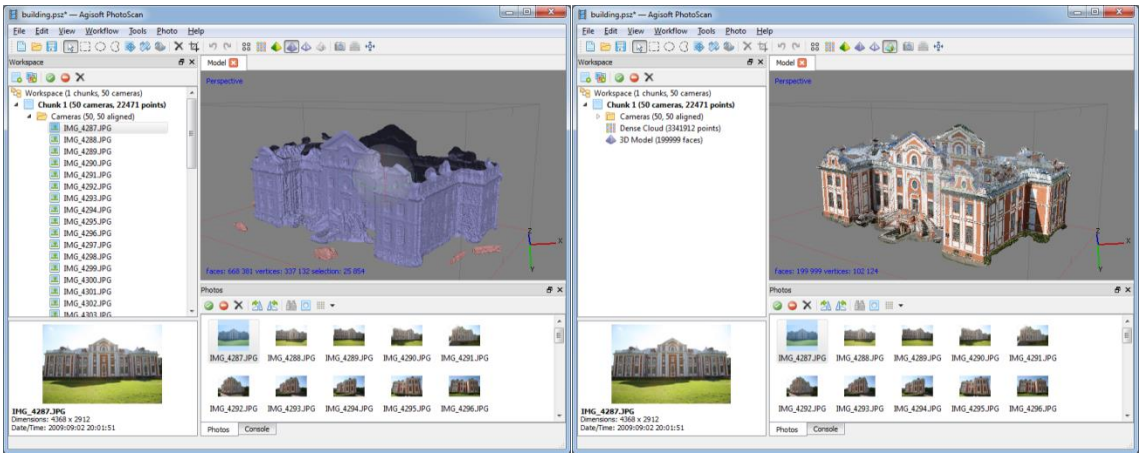


Fig. 198. a) Fase de edición de la geometría del modelo; b) Fase de montaje y texturizado del modelo. Fuente: Tutorial de Agisoft PhotoScan para la reconstrucción de modelos 3D.

Esta técnica de levantamiento no destructiva es idónea en lugares de difícil acceso que no permiten posicionar un escáner y con la que, además de tomar las geometrías de la pieza, obtenemos texturas reales para su acople a las superficies modeladas. En el campo de la arqueología es tan importante adquirir las dimensiones del objeto como fundamental el matiz que incorpora el material en cada sector de la superficie.

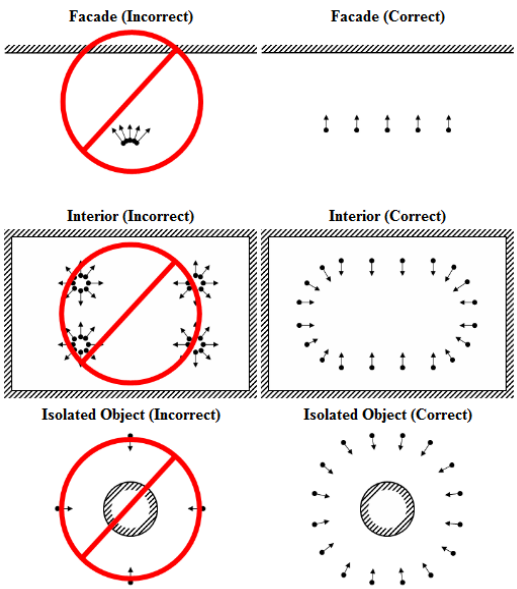


Fig. 199. La captura de los escenarios. Las figuras representan varios escenarios típicos de captura. Agisoft PhotoScan Hell.

El uso del software PhotoScan lo hemos ajustado a nuestro trabajo de experimentación para la obtención de las geometrías de pequeñas piezas arquitectónicas, como un sistema complementario al realizado por el escáner manual Artec 3D. Como hemos expuesto en apartados anteriores, su aplicabilidad al levantamiento de la edificación estaba ya resuelta con el software de cada equipo de medición (escáner láser 3D de Leica y escáner manual Artec 3D).

6.4.4. 123D Catch de Autodesk

Una muestra de los grandes avances alcanzados en estos últimos cinco años en el campo de la fotogrametría monoscópica la tenemos en las numerosas aplicaciones que están disponibles en el mercado, a disposición de cualquier persona no experta, para la captura de lugares, personas y objetos en 3D empleando cualquier cámara digital o dispositivo móvil (smartphone, iPad, iPhone). Aunque su fin suele ser lúdico en algunas de ellas, para que los usuarios compartan el objeto capturado con amigos y familiares, hay que reconocer que es una herramienta que puede cumplir con los objetivos iniciales de cualquier especialista que intervenga en el patrimonio para la adquisición de medidas y texturas de piezas con una calidad aceptable.

El software de Autodesk 123D Catch es actualmente de descarga libre para instalarlo en nuestro pc, en donde realizaremos el montaje de la lista de imágenes capturadas (aunque también podremos ejecutarla desde la web). La fase de procesado y creación del modelo se lleva a cabo en el servidor habilitado por el fabricante Autodesk para tal fin, lo que en cierto modo es una ventaja en ordenadores con procesadores limitados en velocidad. Pero esto nos hace dependientes de una conexión obligada a la red internet.

Su empleo se ha limitado a la captura de algunos capiteles del Cenador de Carlos V y contrastar los resultados con el obtenido de las aplicaciones expuestas anteriormente para el modelado de piezas señaladas en el edificio, que incluso podrían tener como destino la impresión 3D al tamaño de reproducción deseado[143].

6.4.5. Adobe Photoshop

Adobe Photoshop es un software de edición de gráficos rasterizados y retoque de fotografías desarrollado por Adobe Systems. Fue creado en el año 1990 y actualmente es líder mundial en el mercado de las aplicaciones de edición de imágenes por sus grandes prestaciones, empleándolo tanto el usuario no experto como profesionales de la fotografía y diseño gráfico. Podemos decir que soporta todo los tipos de archivos de imágenes

Entre sus principales prestaciones en la manipulación de la imagen podíamos citar: ajuste del color y tono, retoque y reparación, corrección de la distorsión y el ruido, recorte y enderezamiento de fotografías, corrección de la perspectiva, dibujo de formas, creación de texto, edición de video y animación, una multitud de filtros y efectos (enfoque, desenfoque, ángulo ancho adaptable,…), y el nuevo flujo de trabajo para objetos 3D.

➢ La corrección de la imagen

Dentro de los ajustes básicos que podemos realizar a una fotografía habría que destacar la *corrección de lente (lens correction)*. Este filtro de Photoshop mejora la calidad de las imágenes corrigiendo los errores de las ópticas más comunes en las cámaras: distorsión geométrica, aberración cromática y viñeta (que es la reducción de brillo o saturación de la imagen en la periferia en comparación con el centro de la fotografía).

Suele ocurrir habitualmente que el tipo de objetivo utilizado o la posición que adoptamos a la hora de hacer nuestra foto se traduce en una distorsión que hace que se abomben líneas que deberían ser rectas. Esta distorsión "de barril" es un efecto producido por muchos objetivos que hace que los objetos de la fotografía queden redondeados. Se produce con mayor o menor intensidad dependiendo muchas veces de la óptica utilizada y se agudiza con angulares grandes.

El asistente de corrección de lente de Photoshop muestra una ventana propia donde se nuestra la imagen con una rejilla de referencia. Esta rejilla es de gran utilidad a la hora de identificar la curvatura de aristas que sabemos son rectas (los bordes de paramentos, las mochetas y los marcos de puertas y ventanas).

[143] Este enlace a la web de Autodesk muestra diferentes piezas modeladas por la aplicación 123D Catch: http://www.123dapp.com/obj-Catch/2014-1-22-16-39-53/2059823. La aplicación nos facilita la exportación en los siguientes formatos: 3DP: archivo nativo de Autodesk 123 catch. FBX: archivo para 3dmax, contiene información de texturas, cámaras, etc. IPM: para Autodesk Inventor. LAS: archivo para LIDAR, nubes de puntos. OBJ: tipo de archivo universal para intercambio que soporta mallas. RZI: archivo de intercambio para máquinas de corte Autodesk.

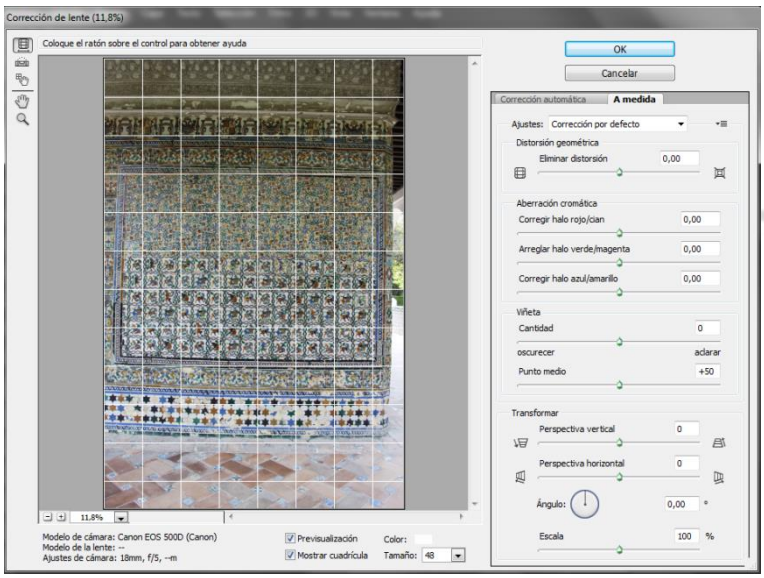


Fig. 200. Paño lateral derecho de la fachada Norte del Cenador

Además de la distorsión la corrección *A medida* nos permite ajustar la perspectiva y la inclinación. La perspectiva suele afectar a esta distorsión, y con su ajuste podemos afinar mucho el resultado. Aunque a veces también es necesario enderezar la fotografía. Para ello, en la misma ventana ajustaremos el grado de inclinación manualmente o recurriremos a la ayuda de la herramienta *Enderezar* (Fig. 200).

Pero con la corrección *automática* podemos elegir entre las marcas habituales de cámaras, su modelo y, lo más importante, la lente del objetivo. Los metadatos de la fotografía incorpora el modelo de cámara, lente y ajuste de cámara (mostrados al pie de la imagen vista desde el asistente), que me guiarán para la correcta selección de los perfiles del equipo fotográfico previa a la corrección. (Fig. 201).

Otra de las ventajas de trabajar con Photoshop es que abre las fotografías en formato Raw[144], con la posibilidad de editarla para su corrección (equilibrio de blancos, exposición, contraste, iluminación, sombra, blancos, negros, calidad, intensidad y saturación). Posteriormente se guardará en otro formato de imagen: dng, jpg, tif,… (Fig. 202).

[144] El archivo de imagen RAW de una cámara réflex tiene un formato específico de la cámara, que es fundamentalmente un "negativo digital", sin filtros, ni ajuste de equilibrio de blancos ni otros procesos realizados en la cámara. La imagen RAW de Photoshop no tiene el mismo formato que el archivo de imagen RAW de una cámara digital.

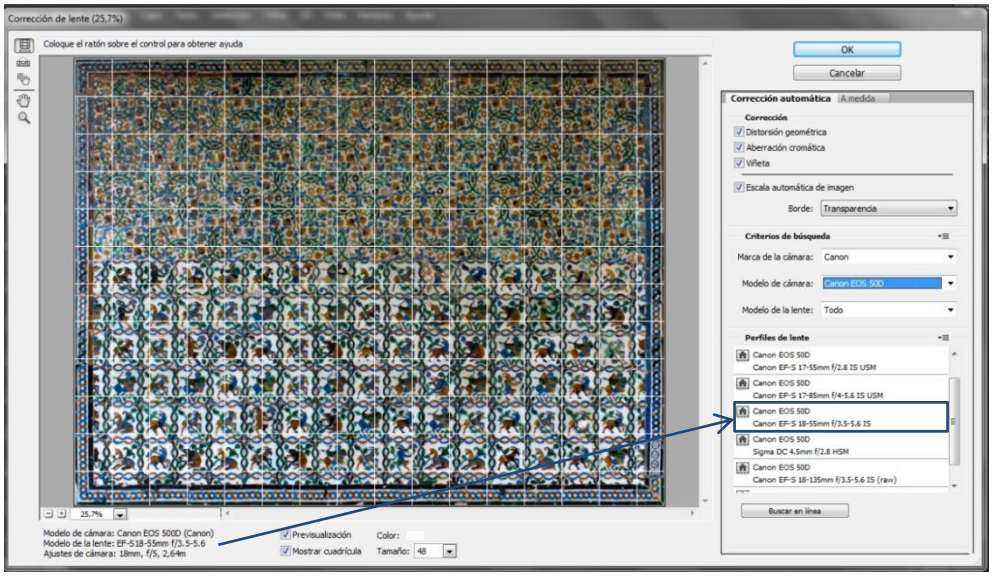


Fig. 201. Corrección automática del paño central derecho de la fachada Norte.

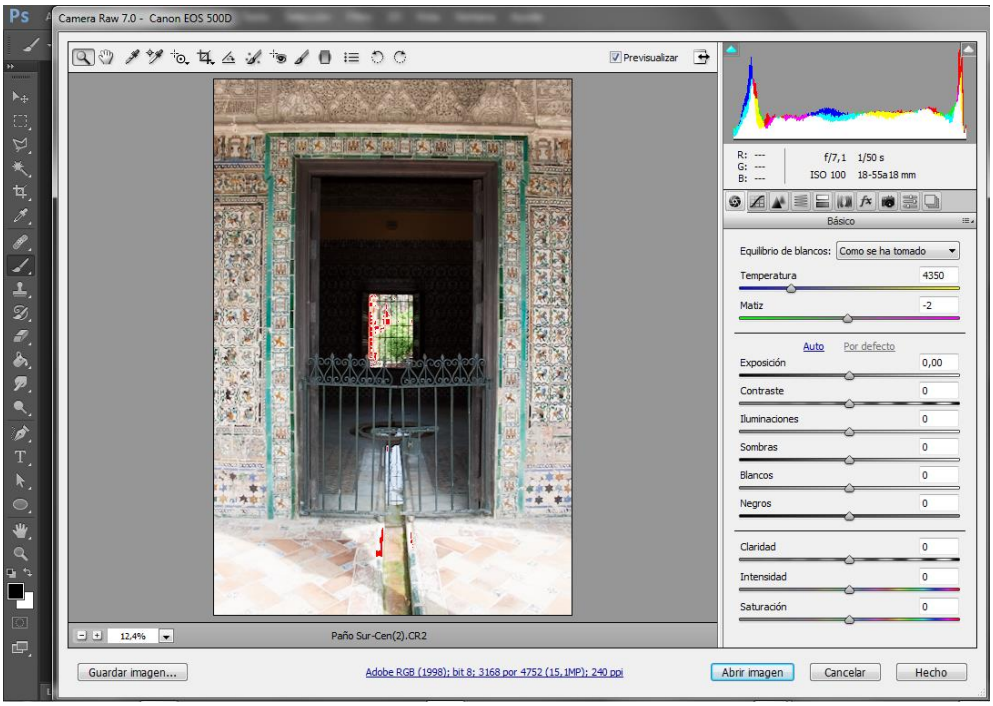


Fig. 202. Abertura de la imagen con el asistente Camera Raw de Photoshop.

Como inconveniente destacado para una transformación de las fotografías dirigida a la creación de ortofotos está que el software no nos facilita introducir los puntos de control medidos. Esto que puede parecer una restricción a la buena rectificación fotográfica de un lienzo o pavimento, fue resuelto en nuestro modelo de experimentación adaptando cada mapa a las dimensiones del propio elemento modelado previamente, el cual si disponía de las geometrías correctas capturadas por el equipo de medición.

Capítulo 7

FIJACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

7. FIJACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

7.1. Instrumentos de intervención en el patrimonio

Para comprender bien un edificio histórico, y más cuando por sus grandes dimensiones se nos complica realizar un análisis histórico y constructivo irrefutable, es importante organizar un protocolo de actuación que nos facilitara una buena comprensión de la arquitectura y su evolución temporal. Empezaremos con una primera aproximación, de modo general, permitiendo una visión panorámica de sus perfiles arquitectónicos más característicos, y que definen el conjunto identificable patrimonialmente. En una etapa posterior se irá profundizando en filiaciones concretas más definitorias de su evolución temporal, defendiendo lo dictado por Parenti (1995): "partir, en definitiva, de lo general para llegar al detalle, disminuyendo progresivamente la distancia de observación".

A la hora de la elaboración del modelo de trabajo, éste se irá conformando progresivamente por fases constructivas evidentes, por una comparativa con otros edificios históricos coetáneos. Es indudable que la información se irá enriqueciendo a medida que se vaya avanzando en la investigación, como también se contrastará en la intervención con nuevos hallazgos que cambiarán algunas hipótesis de partida. Por tanto, hay que apostar por un modelo gráfico de "información" flexible y mutable desde que se empieza con el levantamiento hasta que se finaliza la intervención, permitiendo a cada especialista incorporar nuevas informaciones al modelo de manera paulatina.

Para la conformación de los modelos de trabajo se ha tomado la dualidad arquitectónica seguida por Latorre (1995). Emplearemos al inicio un sistema de trabajo sincrónico para definir tipológicamente la arquitectura tal como lo percibimos, definiendo las fracciones intervinientes individualmente hasta su conformación en sistemas constructivos contrastados. La fase posterior se centrará en el estudio "estratigráfico" del modelo, analizando las relaciones de los conjuntos constructivos por interposición de sus interfaces, obteniendo el establecimiento diacrónico de los mismos en la transformación arquitectónica del edificio. Pero somos sabedores que esta última fase es por sí compleja ya que necesitamos contrastar los datos obtenidos desde diferentes enfoques disciplinares antes de la determinación de las relaciones temporales entre unidades. Por ello, nuestro trabajo se ha limitado a una caracterización de los elementos en cada cata descubierta o revestimiento intervenido dentro del modelo de información, dando pie a una sistemática común válida para arqueólogos, arquitectos y restauradores. El modelo que ahora tendremos estará dispuesto para ser explorado por cada especialista, y que concluirá con el

relleno de los ítems (específicos de cada listado) vinculados a cada unidad caracterizada.

Hemos reutilizado el modelo de la Antigua Cárcel de la Real Fábrica de Tabacos, levantado años atrás, para la identificación de unidades estratigráficas en las recientes prospecciones realizadas en los muros exteriores. En el caso del modelo del Cenador de Carlos V, al no disponer de datos para una actuación arqueológica, el estudio paramental se ha limitado a la identificación y clasificación de las piezas integrantes de cada paño inserto en los paramentos visibles que serán restaurados: azulejos en alicatados exteriores, baldosas en el pavimento de la sala interior y piezas de madera de la cúpula semiesférica que cubre la sala central.

7.2. Estrategias seguidas

Es necesario de antemano establecer una estrategia antes de iniciar los trabajos de construcción del modelo, que será fundamental para que el sistema de información sea efectivo y suponga un sustento a la intervención. Ésta se sustentará en tres pilares básicos y que vienen abalados por otros estudios anteriores que han tenido resultados satisfactorios en trabajos de rehabilitación del patrimonio arquitectónico:

1. Una auscultación del edificio mediante las oportunas comprobaciones estructurales y tipológicas que desembocan en la elaboración de las primeras hipótesis En este primer estadio el análisis tanto arqueológico como arquitectónico es primordial, donde el estudio de paramentos (estratigráfico, análisis tipológico y estructural) se jerarquizará en función de las necesidades dictadas en la fase por la cual se encuentre la investigación (Tabales 2002:10).

2. Establecer un equipo interdisciplinar, operativo y coordinado, en función de las conclusiones a las que se han llegado según las primeras investigaciones, para que se adecue al procedimiento tomado en los trabajos de rehabilitación.

3. Un Levantamiento del edificio con las técnicas gráficas más precisas y eficientes, amoldadas a las circunstancias: presupuesto, operatividad efectiva,..., etc. El nivel de precisión se establecería en función de los objetivos previamente marcados y de la disponibilidad de equipos. Pero es importante que la información tomada en el trabajo de campo sea la más completa posible para que en un futuro, por el resurgir de nuevas necesidades, podamos disponer de la documentación gráfica con el nivel de detalle suficiente (Barrera, 2006:27).

En base a éstos puntos podremos avalar una estructura sólida para un proyecto de intervención en el Patrimonio Arquitectónico, que tomará al modelo BIM como núcleo esencial sobre el que se volcará todo tipo de datos provenientes

de la investigación, proporcionando un conocimiento científico de sus sistemas constructivos, las características físicas de sus elementos, la evolución histórica y las patologías detectadas, a la vez que dispondremos de una representación gráfica actual de la arquitectura histórica.

Pero antes de emprender una labor de definición del proyecto HBIM, es primordial que los protocolos de intercambio de proyectos y de colaboración del software se definan adecuadamente. Es por lo que deberíamos plantear un cuestionario de preguntas y responder a ellas para evitar un organigrama de trabajos poco efectivo, pudiendo destacar como las más fundamentales:

- ¿Cuál es el principal germen del proyecto y el gran interés buscado en él?
- ¿Cuáles son las fuentes documentales y gráficas disponibles que nos sirvan para emprender el proyecto HBIM?
- ¿Cuáles son los principios de diseño fundamentales del proyecto HBIM?
- ¿Qué patrones de dibujo son los más adecuados para amoldarnos adecuadamente al equipo multidisciplinar?
- ¿Cuáles son los elementos estructurales definidores y las técnicas constructivas que van a predominar en el edificio histórico?
- ¿En qué etapa del proyecto comenzará la implementación BIM, es decir, cuando el modelo será analizado por los distintos agentes intervinientes?
- ¿Y cuáles son los protocolos de comunicación con los miembros del equipo para permitir una verdadera interoperabilidad del proyecto HBIM?

7.3. Estructura de un proyecto de intervención en el Patrimonio Arquitectónico

Ya comentamos en el apartado de colaboración entre disciplinas que los proyectos de intervención en el patrimonio histórico son complejos en sí, más que por las dificultades de trabajar en equipos multidisciplinares de cualquier obra en el área AEC - arquitecto, aparejador o ingeniero de edificación, ingeniero de estructura, ingeniero industrial, …-, por las propias singularidades que conlleva ser un edificio que ha sufrido transformaciones en la historia, y que necesita un análisis desde otras disciplinas: arqueólogo, historiador y restaurador.

Esto nos llevará a plantear una estructura del proyecto HBIM que contemple el modelado de todos los elementos arquitectónicos en base a un proceso real de construcción y que tenga en cuenta las transformaciones soportadas por su evolución histórica. En una primera etapa hay que construir el modelo 3D de todo el edificio en base a los datos obtenidos del levantamiento gráfico, conteniendo sólo aquellos elementos imprescindibles para la visualización y el diseño conceptual. En una etapa posterior de auscultación se podrá estructurar el proyecto en función de las primeras indagaciones obtenidas del análisis evolutivo de las técnicas constructivas. Será ahora cuando sepamos estructurar el proyecto para una buena gestión de la información en función de cada disciplina o especialista, la cual se irá incrementando a la vez que avanza las investigaciones.

Basándose en este modelo estructurado, se crearan los archivos de colaboración necesarios (Teamwork® en ArchiCAD), uno para cada sección o zona, que servirán como fundamento de la documentación de construcción. Los archivos para trabajo en equipo o Teamwork harán referencia a otros proyectos más pequeños que formarán los módulos vinculados, y a los archivos externos (Xref) que serán necesarios para estructurar la información por categorías –información geográfica, ortofotografías, esquemas y dibujos de bases consolidadas-, como la nueva documentación generada por los colaboradores. El almacenaje de la documentación en carpetas especificas del *Mapa de Vistas* y *Libro de Planos* nos permitirá una gestión más eficaz de los proyectos.

Pero la elección de un modelo de experimentación de proporciones reducidas, como es el Cenador de Carlos V del Real Alcázar de Sevilla que facilita el modelado por un único diseñador, ha supuesto que no fuese necesario utilizar la asignación de secciones a varios miembros de un equipo siguiendo los protocolos de archivos de colaboración antes mencionados. Razón que está suficientemente argumentada al ser el modelo BIM el núcleo de nuestra investigación, y que conllevará la propuesta de un modelo protocolizado de intervención en el Patrimonio Arquitectónico.

7.3.1. Definición del proyecto HBIM

Muchas de las pautas a seguir en la definición de cualquier proyecto de intervención en el patrimonio arquitectónico están establecidas por los profesionales que operan en dicho campo, pero sabemos que dichos trabajos están apoyados en las técnicas de representación de CAD, muy alejados de la confección de un modelo virtual integrador y a la vez suministrador de toda la información, gráfica y no gráfica.

Actualmente estamos en los inicios de una verdadera implementación del BIM en los estudios profesionales y empresas del área AEC, pero sigue siendo excepcional el empleo de los modelos de información BIM en edificios históricos, por lo que no podemos basarnos en una experiencia contrastada. Es, por tanto, necesaria una redefinición del proyecto que vaya a operar sobre un edificio histórico bajo el concepto que hemos denominado HBIM, que describa desde la fase inicial los siguientes contenidos:

- El "esqueleto" del proyecto, incluida la estructura de pisos por niveles acordes con la evolución del edificio histórico y no por la lógica constructiva de un edificio de nueva planta.

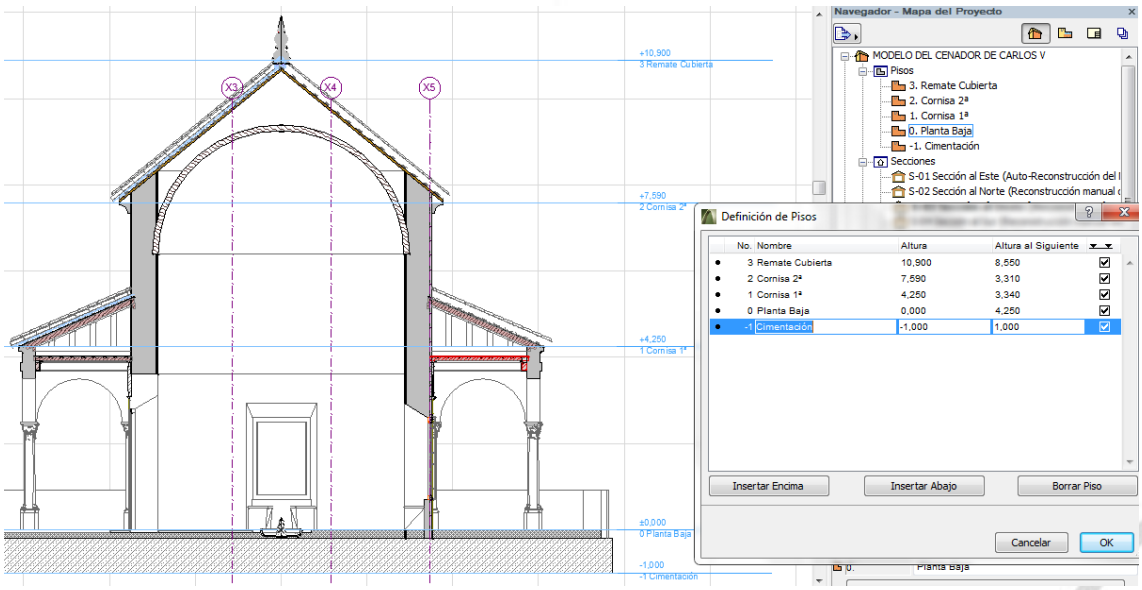


Fig. 203. Definición de Pisos en el Cenador de Carlos V para organizar los elementos por niveles.

- La "lógica inherente" principal de un proyecto de reforma o rehabilitación, como son: las capas, las combinaciones de capas y los modos de visualización para mostrar y gestionar de forma fácil los elementos del modelo en sus diferentes etapas de la intervención.

- Una estructura de la información por fases en el desarrollo del proyecto HBIM, que incluirá las carpetas contenedoras de vistas gráficas, agrupadas por categoría, y la información de datos en base a los listas y esquemas confeccionados para gestionar la información. Ya veremos en el apartado

siguiente como esta información quedará bien estructurada en el Navegador del software ArchiCAD.

- Los principales "protocolos de comunicación" que se van a emplear en la comunicación entre los miembro del equipo de proyecto y los colaboradores externos, e incluso la propiedad o patrocinador.

- La estructura básica de la documentación para su posterior publicación, con la confección de un Libro de planos básicos, aunque a medida que vaya avanzando el proyecto su número se amplíe en función de las propias peculiaridades del edificio. Aquí estarán incluidos los conjuntos de vistas y los listados para el inventariado de los elementos del modelo que han sido ya definidos en el mapa de vistas del Navegador.

Una vez expuestos los contenidos básicos, procederemos a definir el esquema estructural del proyecto HBIM, basándonos en la distribución del interfaz ArchiCAD por ser el software BIM que hemos empleado para el modelado de los edificios escogidos con valores patrimoniales.

7.3.2. Estructura del Proyecto HBIM

Emplearemos la Paleta del Navegador de ArchiCAD para gestionar la visualización del modelo HBIM, tanto para mostrar las proyecciones diédricas por niveles o cortes establecidos, como las vistas 3D ortogonales y en perspectiva.

Desde el Navegador realizaremos las funciones fundamentales para que el flujo de trabajo del proyecto sea efectivo, agrupadas en ventanas independientes y a las que se acceden desde los cuatro iconos superiores: Mapa del Proyecto, Mapa de Vistas, Libro de planos y Publicador. Desde las dos primeras ventanas podremos ejercer un control sobre las estructuras de proyecto (fundamental cuando la arquitectura analizada es compleja) y los conjuntos de vistas gráficas y listados de datos de manera muy intuitiva y rápida.

7.3.2.1. El Mapa del Proyecto

El Mapa del Proyecto nos facilita realizar las labores de modelado al navegar de manera fluida por los niveles o *pisos* del proyecto y por la ventana 3D para la mejor exploración del modelo BIM.

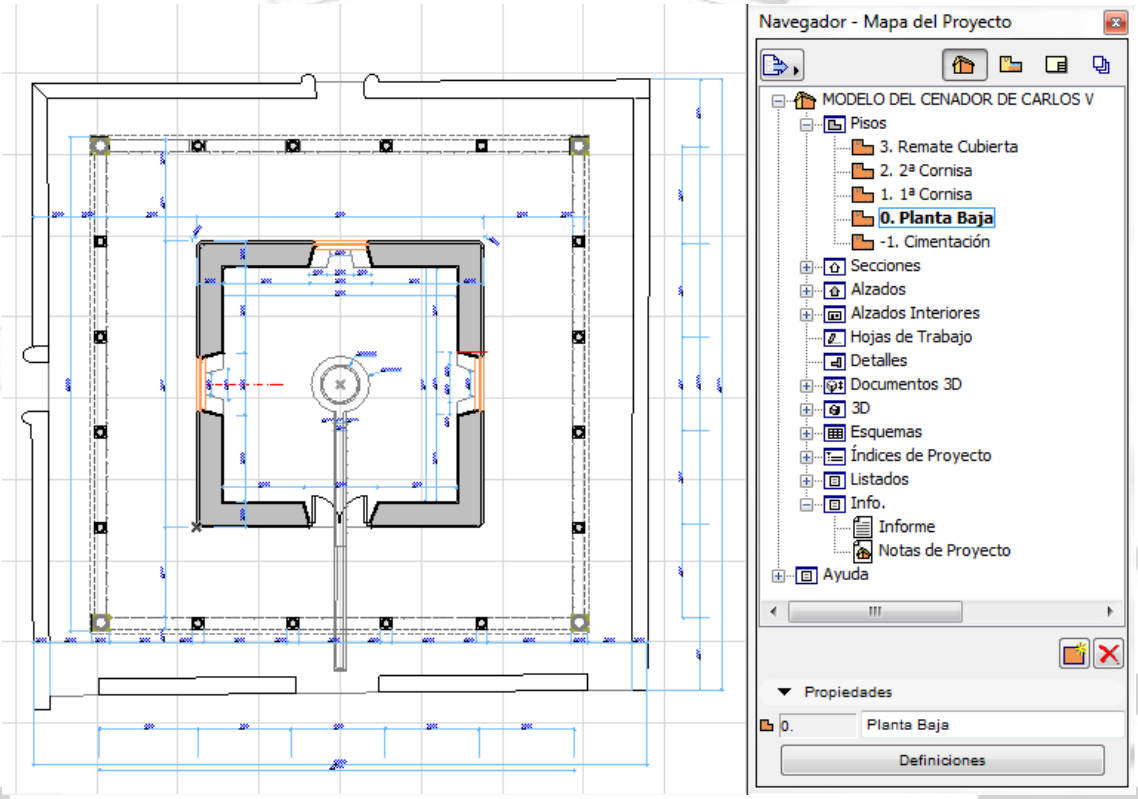


Fig. 204. La ventana del Navegador muestra la sección Mapa del Proyecto. Desde él se ha marcado el piso Planta Baja (nivel 0.) para mostrar en el interfaz de ArchiCAD la planta acotada del Cenador.

7.3.2.2. El Mapa de Vistas

En esta sección almacenaremos las vistas sacadas del modelo y que clasificaremos para que queden asociadas a las distintas categorías preestablecidas.

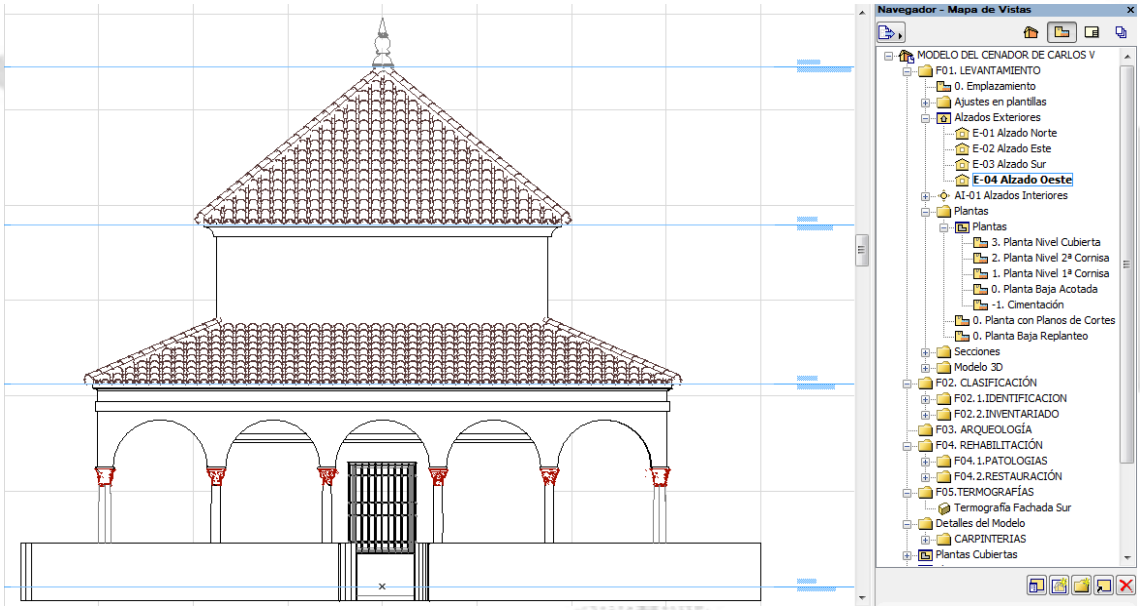


Fig. 205. Mapa de Vistas del Cenador de Carlos V dentro del navegador de ArchiCAD. Las vistas están clasificadas dentro de carpetas y distribuidas en la estructurada de fases del proyecto.

7.3.2.3. El Libro de Planos

El Libro de Planos nos permitirá la creación de la planimetría del modelo, constituyendo una vía rápida de acceso a toda la documentación del proyecto.

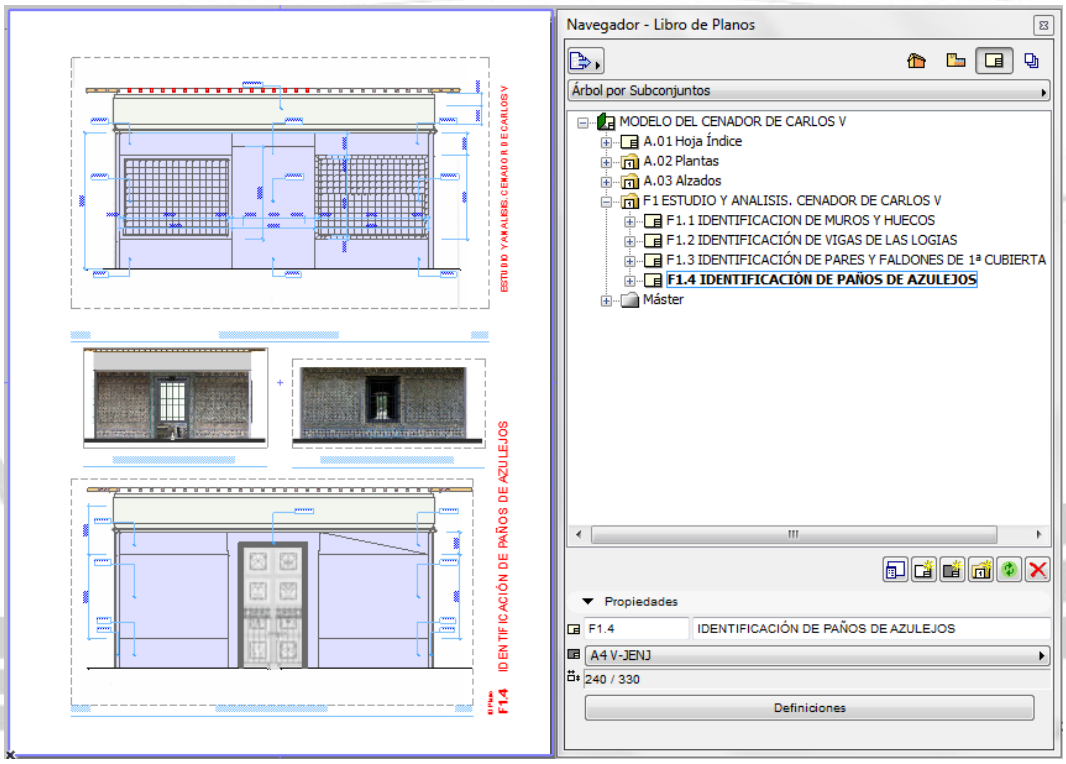


Fig. 206. Gestión del Libro de Planos desde el Navegador del Proyecto del Cenador de Carlos V. ArchiCAD.

7.3.2.4. Publicador del proyecto

El Publicador es la herramienta que gestionará la entrega de datos del proyecto BIM, sea para su revisión o para la impresión, y que nos permitirá elegir el formato de los archivos para un mejor intercambio de información: DXF, DWF, DWG, PDF, PMK, BMP, JPEG, GIF, TIFF, PNG.

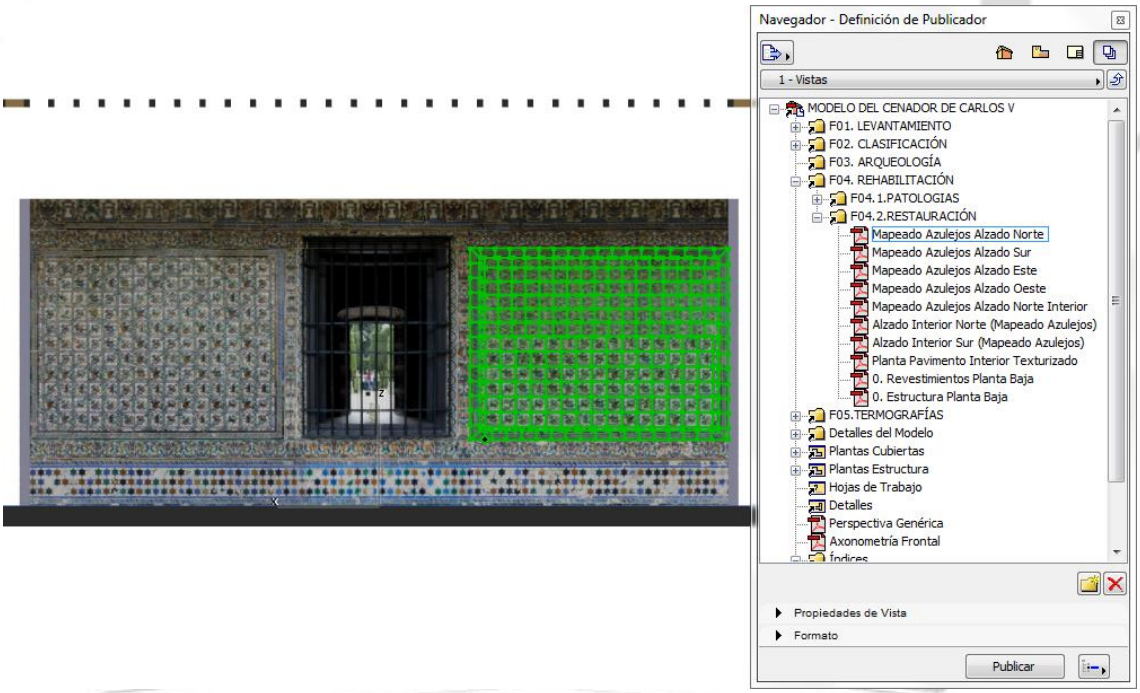


Fig. 207. Definición de los formatos de salida de las vistas y planos desde el Publicador del Navegador del Proyecto Cenador de Carlos V.

El Navegador está pensado para gestionar el trabajo de modelado del proyecto BIM abierto, pero el usuario también podrá incluir otra documentación externa vinculada, como son los archivos referenciados tipo *Xref* (como plantillas vectoriales de archivos tipo dxf o dwg), *Dibujos* externos (en formato de imagen: jpeg, tiff o pdf), y otros proyectos BIM completos empleando el gestor de *Módulos* vinculados. El uso combinado del Navegador y del Gestor de Vínculos nos permitirá computarizar de forma continuada el estado del archivo de proyecto BIM y de los archivos externos vinculados.

Para un proyecto de intervención en el Patrimonio Arquitectónico empleando el sistema BIM, denominado proyecto HBIM, hemos establecido definitivamente una estructura de fases que se amolde a las singularidades propias del edificio histórico, que en el caso del Cenador de Carlos V han quedado distribuidas de la siguiente forma:

- **Fase F01. LEVANTAMIENTO**
- **Fase F02. CLASIFICACIÓN**
  - **02.1. IDENTIFICACIÓN**
  - **02.2. INVENTARIADO**
- **Fase F03. ARQUEOLOGÍA**
- **Fase F04. REHABILITACIÓN**
  - **05.1 PATOLOGÍAS**
  - **05.2. RESTAURACIÓN**
- **Fase F05. TERMOGRAFÍAS**
  (U otras técnicas de inspección no destructivas)

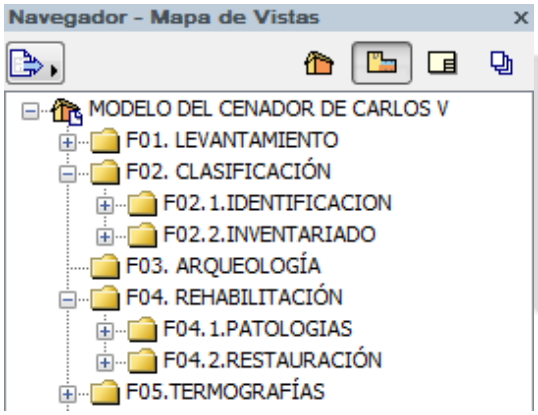
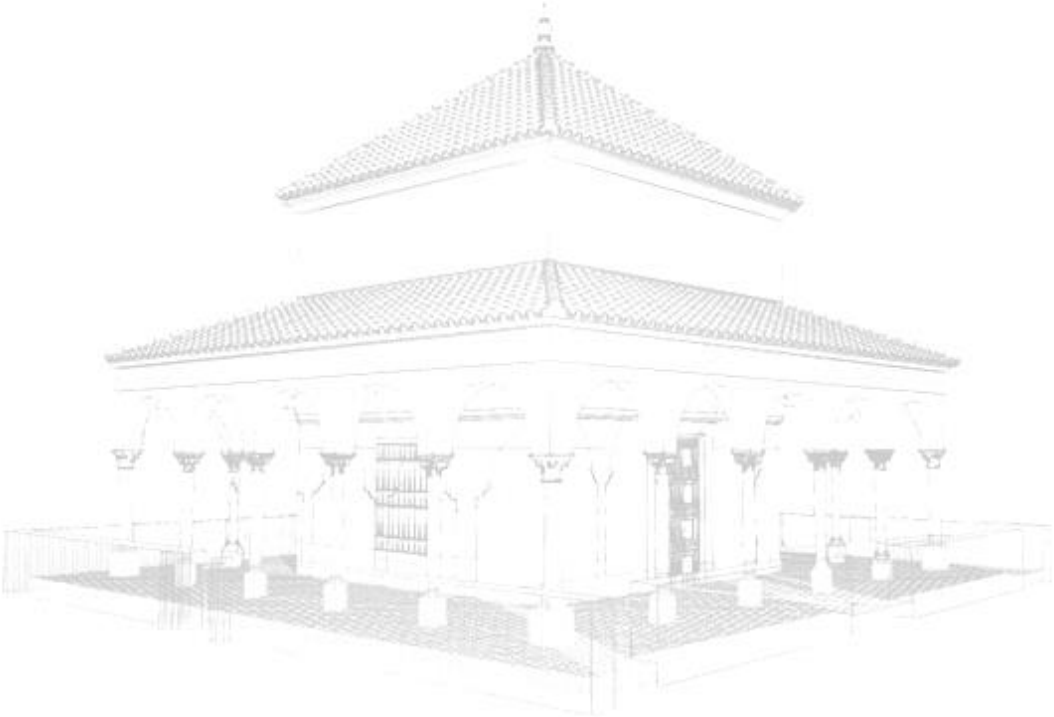


Fig. 208. Estructura del Mapa de Vistas en el Navegador de ArchiCAD. Proyecto del Modelo del Cenador de Carlos V.

Capítulo 8

IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE INFORMACIÓN



8. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE INFORMACIÓN

En este capítulo se procederá a ensayar con el modelo de información aplicado a casos concretos del patrimonio arquitectónico, con una estructuración de la metodología propuesta en el patrón de trabajo y poniendo hincapié en la nueva dirección tomada para la obtención de la documentación gráfica y alfanumérica al emplear la última tecnología bajo el concepto de BIM (Building Information Modeling). La exposición cronológica de los temas irá acompañada de imágenes explícitas para mostrar los resultados obtenidos.

Los modelos que se presentan en este capítulo nos han servido como núcleo para estructurar un proyecto de intervención en el patrimonio arquitectónico, aportándonos una documentación que será fuente empírica de este trabajo de investigación. Todas las labores han estado siempre encaminadas a la puesta en práctica de los métodos, sistemas y equipos analizados en los capítulos anteriores, considerando los factores cualitativos más relevantes en su aplicabilidad[145], con el propósito de presentar la información y los documentos gráficos derivados del modelo en relación con las contribuciones y la sistemática propuesta por esta investigación.

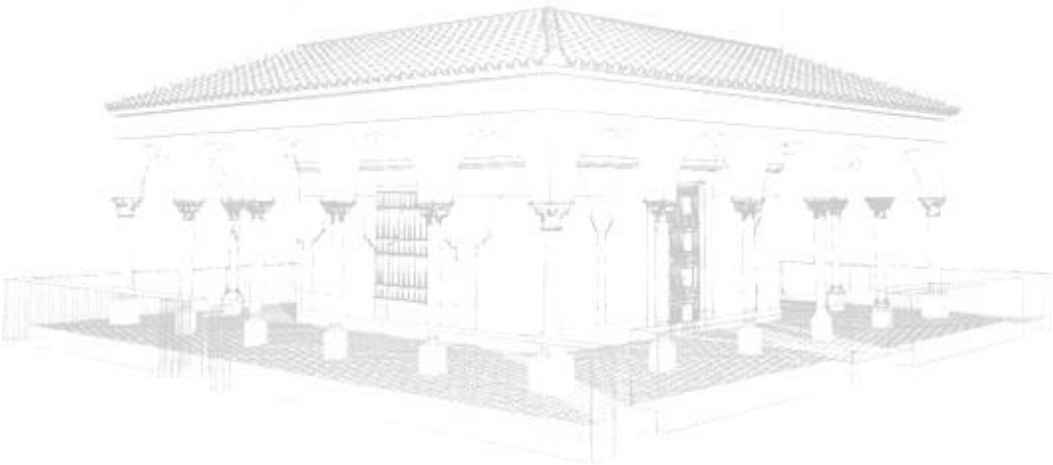
Somos conscientes de que el mejor modo de mostrar la implementación de los modelos "virtuales" de información es su exploración en tiempo real dentro del proyecto BIM, con una exposición pormenorizada de todos los listados, mediciones, imágenes y planimetría en formato digital. En ese sentido consideraremos que lo expuesto en este capítulo está encaminado a efectuar una explicación específica de cada una de las fases en que se ha estructurado el proyecto en función de cada caso práctico. Por lo que, para una completa presentación de los resultados, hemos publicado al final un Anexo donde se incorpora todos los documentos planimétricos a escala adecuada y los listados de datos de los casos examinados, además de un DVD que contiene la misma documentación en formatos de presentación digital.

Principalmente las actuaciones han recaído en el Cenador de Carlos V del Alcázar de Sevilla, también conocido como de la Alcoba, al considerarse un modelo arquitectónico con altos valores patrimoniales y con una escala idónea para la máxima exploración en un tiempo prudencial de desarrollo de la tesis. El edificio muestra bastantes síntomas de deterioros por una falta de mantenimiento, hecho que me animó para utilizarlo como modelo de investigación, pero lleva un largo tiempo a espera de que se apruebe el proyecto de intervención. Esta circunstancia ha motivado que algunas de las fases de la estructura del proyecto de intervención que hemos expuesto en el capítulo anterior, queden vacías (como es un estudio arqueológico).

[145] Hemos considerado como factores primordiales en el modelado: el tiempo en la toma de datos, la duración del procesado de datos para la elaboración del modelo, la precisión y resolución obtenidas, la comparación de métodos y su fiabilidad y la interoperabilidad de los diferentes softwares (Barrera, 2006:255).

El otro modelo utilizado es La Cárcel de la Real Fábrica de Tabacos de Sevilla, que será nuevamente examinado para continuar la etapa de auscultación iniciada en el año 2010 y que derivó en un posterior proceso de modelado y gestión de la información del modelo BIM[146]. Aquí incorporaremos los estudios estratigráficos de algunos paramentos debido a unas recientes obras de mantenimiento que han supuesto el picado de los enfoscados exteriores, aunque no de todos, y que añadirán otros datos importantes por una nueva etapa de auscultación y análisis. Al ser actualmente un edificio con uso institucional (reside el Departamento de Historia Universal, Moderna y Contemporánea, y una sala bibliotecaria de la Universidad de Sevilla), es un edificio activo que puede estar expuesto a adaptaciones para un uso adecuado. Por lo que utilizaremos el modelo para cometer posibles labores de remodelación en el interior, aplicando el asistente de Rehabilitación incorporado en el sistema BIM para la gestión y visualización eficaz de los distintos estados de la intervención u obra.

Una vez generados los modelos de información, se procederá a la elaboración de una documentación gráfica y listados de datos que como expresión de los aspectos analizados en etapas anteriores sirviera de medio y soporte para una intervención de rehabilitación.



[146] El edificio lo utilizó el doctorando como modelo de experimentación en el trabajo Final del Master en Arquitectura y Patrimonio Histórico de la Universidad de Sevilla, con el título: *Generación de modelos de información para la gestión de una intervención de rehabilitación: La cárcel de la Real Fábrica de Tabacos de Sevilla*. 2010.

8.1. Estudios previos a la intervención. Evolución Histórica del edificio

8.1.1. El Alcázar de Sevilla

El Real Alcázar de Sevilla es calificado como el principal edificio civil de la ciudad y constituye uno de los monumentos más densos al reunir una multitud de edificaciones con variada tipología arquitectónica, y con una complejidad destacada por reunir una cronología y funcionalidad diversa debido a su dilatada evolución histórica. Ha sido residencia de príncipes y mandatarios musulmanes, corte de reyes castellanos desde 1248, y actualmente sigue siendo residencia de la casa real española en la ciudad hispalense. Fue cedido en 1931 a la ciudad para su gestión, labor desarrollada por Patronato del Real Alcázar, y cubre muchas de las funciones institucionales del ayuntamiento hispalense: prolongación de las Casas Consistoriales, foro cultural, aula universitaria y monumento turístico.

Cada época le ha ido imprimido su vestigio, tanto en su carácter arquitectónico como en el paisajístico, con muchas improntas de los periodos islámicos y cristianos por ser los últimos, y que le confieren el semblante que hoy nos brindan la serie de edificaciones levantadas en etapas sucesivas de la historia de Sevilla.

El complejo edificatorio que conocemos como Real Alcázar se levantó sobre un antiguo asentamiento romano y posteriormente visigodo en los inicios del siglo X (periodo del primer califa Abd al-Rahman III). En él podemos admirar vestigios de la etapa califal, taifa y almohade en forma de murallas, torres, salas reales, patios y jardines. Pero lo admirable es que conviven de manera armoniosa con otras estampas palatinas de épocas posteriores: el palacio gótico levantado por el rey Alfonso X (2ª mitad del siglo XIII), el palacio mudéjar de Pedro I (año 1364) y la sala de Justicia como modelos del mudéjar andaluz, y el cuarto del Almirante y la sala de Audiencias de la Casa de Contratación de las Indias (decretada su construcción en 1503 durante el reinado de reina Isabel).

También hay que destacar las sucesivas transformaciones en los posteriores reinados, iniciado por los Reyes Católicos y que afectaron al palacio del rey Pedro I durante el siglo XVI, y las nuevas edificaciones renacentistas en las etapas de Carlos V y Felipe II. El manierismo de inicios del siglo XVII queda plasmado en el interior con la construcción del Apeadero, pero sobre todo en el entorno que rodea las construcciones palatinas con la galería de Grotescos y los multitudes jardines: Danza, Damas, Flores, Galeras, Príncipe, Rústico y Troya. Por último, apreciar el barroco impuesto en las nuevas remodelaciones interiores, afectando principalmente a las salas reales: salón de Tapices y galería dieciochesca del patio del Crucero, y la nueva Armería Real implantada en el Apeadero.

Pero esto es sólo una síntesis de lo acontecido históricamente en base a los estudios realizados, los cuales continúan hasta nuestros días y, por lo tanto, están

afectados por la revalidación de nuevas hipótesis. En mayo del 2000 hace aparición la revista *Apuntes del Alcázar* con la intención de acercar a todos los ciudadanos a los continuados trabajos de restauración, a sus campañas arqueológicas y a las muy diversas investigaciones que se llevan a cabo en el Real Alcázar; pero significativamente a las actuales estimaciones y reflexiones que sobre su historia, su significación social o su esplendor arquitectónico realicen los expertos. Es una publicación que año tras año (ahora va por su edición 13), ha divulgado valiosísimos trabajos de excavación, conservación y restauración del conjunto monumental emprendidos por los mejores especialistas de las distintas disciplinas científicas participativas en el campo patrimonial, transfiriéndonos siempre una información precisa basada en investigaciones metódicas y contrastadas, ilustradas con dibujos, gráficos y fotografías.

8.1.1.1. La evolución constructiva y espacial del Alcázar

Los nuevos hallazgos desde que ha existido un control arqueológico en el Alcázar han sido constantes, descubriéndose durante la campaña del año 1998 el gran palacio almohade, destruido por Pedro I para levantar su "Palacio Mudéjar", además de localizarse restos de anteriores construcciones datadas en la segunda mitad del siglo XI. A esta acumulación de nuevos datos arqueológicos hay que sumarle las previsibles obras de mantenimiento y reformas en un conjunto monumental tan importante para la ciudad, motivaciones que sirvieron para que se iniciara un elaborado programa de investigaciones en constante renovación que ayudaran en el esclarecimiento de las muchas hipótesis existentes en torno a su continuada evolución y la implicación de cada período en la transformación urbana de Sevilla[147].

Las excavaciones arqueológicas en el Alcázar han sido continuadas hasta nuestros días intentando que cubran todos los recintos del conjunto palaciego, tanto construcciones como espacios exteriores: lienzos de Murallas, Puerta de Marchena, Puerta de la Alcoba, Patio de Banderas, Patio de la Montería y Cenador de Carlos V. Éstas se han visto apoyadas por vigilancias de obra y limpiezas arqueológicas, como las realizadas en el Crucero, el Jardín de la Danza, el Patio del León y las torres del espacio omeya. Actualmente se sigue con las prospecciones en el Patio de Banderas en prolongadas campañas arqueológicas que siguen aportando nuevos datos esenciales en las indagaciones sobre la transformación histórica de la urbe de Sevilla.

[147] Durante tres campañas, que van desde el año 1997 hasta 1999, se inicia en el Alcázar un proceso sistemático de análisis paramentales en todo el conjunto arquitectónico.

8.1.2. El Cenador de la Alcoba

Las huertas que rodeaban a los palacios reales, también sufrieron transformaciones en la etapa imperial. Entre los nuevos espacios exteriores renacentistas del Alcázar, se encuentra el Jardín del Príncipe, por estar junto al cuarto del palacio que recibe el mismo nombre, en la zona oeste. Mientras que las demás zonas ajardinadas se localizaban anexas al ala este de las murallas: jardines de la Alcubilla, del Cuarto del Sol y del Chorrón. El resto de los terrenos circundantes a las dependencias del Alcázar lo ocupaba la Huerta de la Alcoba, descrito por Navagero como un "bosque de naranjos donde no penetraba el sol", lugar elegido para la construcción de un *Cenador* como un lugar de descanso y contemplación.

Las primeras reseñas documentadas de los trabajos de remodelación en el sector datan de 1539, cuando se mencionan que los jardineros ensetaban el jardín[148], pero no va a ser hasta 1542 cuando se aluden trabajos de albañilería y revestimientos de muros en el "Jardín Nuevo" o del Príncipe y en el sector junto a los muros del palacio que ocupaba los "corrales que caen a la Huerta de la Alcoba"[149]. En la descripción de Navagero lo asemeja a un "bosque de naranjos donde no penetraba el sol"[150]. En el otro sector oriental, delimitados por la misma muralla, se establecían los jardines de la Alcubilla, del Chorrón y el del Cuarto del Sol, cuando el patio del crucero mostraba por entonces su semblante medieval.

Fig. 209. Vista del Cenador de la Alcoba presidiendo el Jardín de las Flores (al fondo a la izquierda) y zona de huertos. Fuente: Apuntes del Alcázar de Sevilla. Fotografía de inicios del siglo XX.

También están documentados los trabajos de remodelación de las murallas circundantes a la Huerta, con el labrado de tapias, calzado de las mismas y reconstrucción de las almenas deterioradas. Además se recoge la construcción en 1543 de una capilla sobre la noria existente en la zona, que por los datos de los pedidos de materiales pudo ser un sencillo templete levantado sobre pilastras

[148] A.RR.AA. Leg. 225. Hijuelas del año 1539.
[149] Bis)A.RR.AA. Leg. 156. Hijuelas del año 1540 y 1542. GESTOSO Y PEREZ, J., Op. cit. Vol. cit. p. 506.
[150] GARCIA MERCADAL, J. "Viajes de extranjeros…", Op. cit. Vol. cit. p. 849.

de ladrillo para sostener la posterior estructura de madera que iba cubierta con faldones tradicionales de teja[151].

8.1.2.1. La construcción de un nuevo pabellón

En cuanto a la construcción del Cenador de la Alcoba, el profesor y arquitecto D. Rafael Manzano[152], llega a afirmar que en estos huertos existía por entonces una construcción anterior datada en el S. XII por ocupar el lugar un cementerio de los emires almohades, teoría que está avalada por otros investigadores que han intervenido en excavaciones arqueológicas y remodelaciones del Real Alcázar. La organización estructural del *Cenador* es muy similar a la "cubba" musulmana por estar rodeada de galerías perimetrales y por su posición central en la huerta circundante, sirviendo de oratorio o "Musalla" en la necrópolis real al igual que los cementerios nazaríes de Granada.

Para la cubrición del edificio se emplean faldones de teja, que crean en el centro un volumen prominente a cuatro aguas de perfiles sobrios sobre las logias inferiores de gran armonía y belleza, y que viene a confirmar el uso de elementos andaluces de gran templanza con otros nuevos y más sugestivos importados desde Italia.

Fig. 210. Vista del Cenador de Carlos V desde el extremo noreste.

La anterior edificación sería remozada casi en su totalidad por Juan Fernández, que actuaría como maestro mayor de albañilería. El 21 de mayo de 1543, se comienza el labrado de los muros por un grupo de albañiles dirigido por el citado

[151] A.RR.AA. Leg. 156. Hijuelas del año 1543.
[152] Arquitecto del Servicio de Defensa del Patrimonio Artístico Nacional de la Dirección General de Bellas Artes, fue Director Conservador – Alcaide de los Reales Alcázares desde 1970 al 1991. Anteriormente realizó importantes obras de restauración en sus dependencias bajo la dirección de Joaquín Romero Murube.

maestro: Francisco Ruiz, Hernando Esteban, Francisco Benítez, Juan Martín, Diego Garrido, Francisco Mellado y Manuel y Francisco Ramos. Los trabajos de la techumbre de madera fueron encargados a Sebastián Segovia, dirigiendo a un grupo de carpinteros formado por Melchor de Bonilla, Juan Pérez, Juan de Simanca, Juan de Mora, Pedro García, Francisco Días y Alonso Hernández. Las tallas de los artesonas y florones y su asentamiento en las armaduras de madera se desarrolla entre junio y agosto del mismo año, a la vez que se iba cubriendo con tejas los faldones de cubiertas.

El encargo de azulejos, alizares y tabletas en colores verdes y blanco fue para los hermanos Polido, llegando el primer pedido el 11 de agosto[153]. En el mes de septiembre se sigue con el suministro de azulejerías, documentándose la entrega de 370 azulejos por Diego Polido y otra de 80 tabletas realizada por Pedro de Herrera Ollero, encontrándose por entonces los trabajos de Cenador en formación de huecos y puertas[154].

También están documentados los trabajos de cantería, con la confección de las basas y capiteles de las columnas que cerrarán las cuatro galerías. El 24 de septiembre se asentarán las mismas, con sus basas y capiteles, concediendo también con el entallado de florones y la colocación entre las armaduras.

Fig. 211. Alfarjes que conforman el artesonado que cubre las cuatro logias perimetrales del Cenador. 2012.

[153] A.RR.AA. Leg. 156. Hijuelas del año1543. GESTOSO Y PEREZ, J., Op. cit. Vol. cit. p. 512.
[154] A.RR.AA. Leg. 156. Hijuelas del año 1540 y 1542. GESTOSO Y PEREZ, J., Op. cit. Vol. cit. pp. 514-515.

En el mes de noviembre se comienza las labores de tallado del friso perimetral y de los alfarjes de las galerías (Fig. 211), empleándose para ello madera proveniente de Portugal[155].

Los siguientes Legajos o "Libros de Cargo y Data" se remontan a los primeros meses del año 1545. Nos datan los trabajos de carpintería, con la confección de las ventanas y puerta de acceso al Cenador – realizados por Sebastián de Segovia, Juan Pérez y Pedro García-; y el pintado de los alfarjes del techo por los pintores Sebastián de Acuña y Antonio de Coimbra[156].

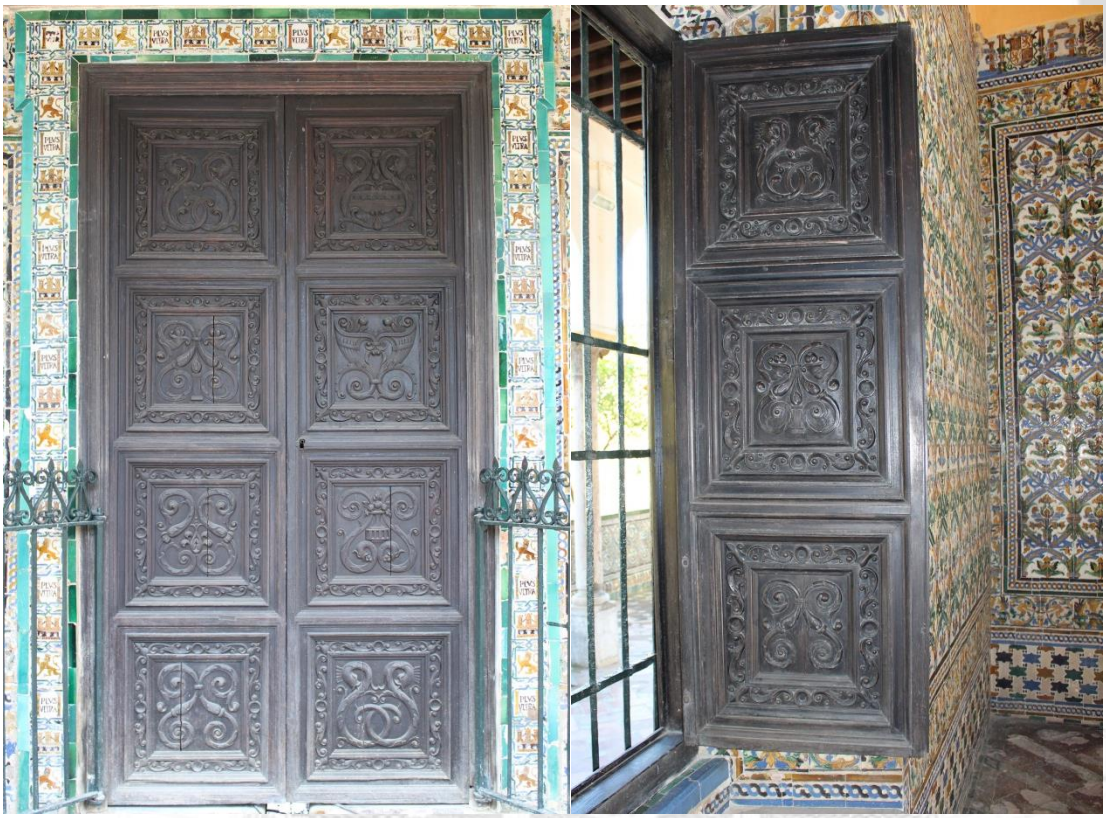


Fig. 212. Carpinterías de madera del Cenador de Carlos V: a) puerta de acceso por fachada Sur; b) hoja izquierda de las ventanas centradas en las tres restantes fachadas.

Podemos apreciar en las fotografías anteriores que las tallas incrustadas en las hojas de la puerta y tres ventanas se encuentran en un buen estado, lo que evidencian que las carpinterías posiblemente han sido restauradas. Son signos evidentes de que el edificio ha sufrido intervenciones desde su construcción, aunque muchas de éstas se hayan desarrollado momentáneamente para subsanar deterioros parciales.

Se estima que las últimas obras de construcción se remontan al año 1546, con la ejecución del pavimento de ladrilletas de barro, al que se le insertó tiras cerámicas de colores claros para resaltar una cuadrícula trapezoidal que conforma una malla que radia al centro de la sala (Fig. 213). El resultado será un pabellón al estilo de una antigua "cubba" de planta cuadrada, franqueada por

[155] A.RR.AA. Leg. 156. Hijuelas del año1543.
[156] A.RR.AA. Leg. 156. Hijuelas del año 1545. GESTOSO Y PEREZ, J., Op. cit. Vol. cit. pp. 516-517.

cuatro galerías porticadas que emplean veinte columnas para sustentar los arcos de medio punto.

Fig. 213. Incrustaciones en el pavimento de barro de piezas cerámica de diferentes colores con formas geométricas variadas, y alambrillas en las esquinas de los marcos.

La columnata se deja descansar en basas de ladrillo para darle más esbeltez a los pórticos, siendo mayores los apoyos de las cuatro esquinas al igual que sus columnas disponen de un aumento de diámetro (Fig. 214a). En cambio, los cuatro fustes centrales de cada galería presentan un abombamiento central, típico de las columnas califales, por lo que se cree que fueron reutilizadas, aunque no es seguro que procedieran de la antigua cubba (Fig. 214b).

Fig. 214. a) Columna en la esquina Sureste (Ref. Col-01). b) Columna intermedia del pórtico este, con abombamiento central del fuste (Ref. Col-20).

Las dieciséis columnas intermedias presentan la singularidad de que están rematadas por capiteles corintios que incorporan motivos diferentes, mientras que las cuatro columnas de esquina reúnen una misma tipología. Se conjetura que, por su parecido con las de las galerías del patio de las Doncellas, pudieron ser cinceladas por los canteros Antonio Mª Abril de Carona y Bernandino de Bissone entre otros tallistas genoveses.

Fig. 215. Capiteles corintios de las columnas pareadas del Patio de Las Doncellas. Alcázar de Sevilla.

Su procedencia italiana también está bastante constatada en otros ejemplos de la arquitectura sevillana de la época, hallándose en el patio de la casa de Los Pinelo capiteles italianos muy semejantes a los del Cenador de Calor V.

Fig. 216. a) Galerías del patio de la casa de Los Pinelo; b) detalle de unos de los capiteles importados de Italia; c) capitel de esquina del Cenador de Carlos V en el Alcázar de Sevilla, confirmando su procedencia italiana.

8.1.2.2. Una azulejería con inspiración islámica

Lo más destacable de esta arquitectura renacentista es el revestimiento de todos sus muros con paños de azulejería, empleándose mayoritariamente el azulejo "de arista" tanto en el interior de la sala como en sus perímetros exteriores. Estos azulejos tienen unas influencias islámicas claras debido a que se siguen incorporando motivos que utilizan como base las figuras geométricas, constituidos principalmente por pequeñas piezas de múltiples formas que conformaban dibujos simétricos de diversas índoles, encontrando los mejores ejemplos en las lacerías mudéjares que pueden contemplarse en el Real Alcázar. Inspiración que ha persistido en la arquitectura policromada del Renacimiento, donde fue ampliando el repertorio figurativo hacia otras temáticas: representaciones de animales y motivos vegetales.

El uso de la azulejería se ha ido generalizando desde el siglo XIV[157], siendo muy frecuente el empleo de los zócalos de azulejos policromados en muchas residencias y palacios de Sevilla del siglo XIX.

El procedimiento seguido para su fabricación de la época musulmana era dificultoso y poco productivo debido al gran número de piezas de diferentes tamaños que debían cortarse para conformar un paño. Así, en el siglo XV nace la técnica de la fabricación de losas cuadradas a las que se insertan los temas por trazados geométricos, conocida como de "cuerda seca". El procedimiento estribaba en dibujar con una mezcla grasa y color neutro la figura decorativa, impidiendo la unión de los colores de fondo aplicados posteriormente. Este sistema de trazado evolucionó hacia el empleo del punzón para la realización de surcos en el barro y originar así una doble arista delimitadora de los motivos, llegándose a denominar "cuerda seca hendida".

Fig. 217. Azulejo de cuerda seca. Pieza de la Exposición de Azulejos en el Real Alcázar de Sevilla. 2012.

Va a ser con el inicio del siglo XVI cuando se produzca otro cambio en el método de fabricación de los azulejos, al evolucionar los motivos tradicionales a otros temas más aleatorios, influenciados por los diseños de bordados en tejidos de vestidos y tapicerías de mobiliarios. Ahora se necesitaba más flexibilidad en los trazados y resaltar los contornos delicados de los dibujos, que la que nueva

[157] Se han encontrado piezas en la Iglesia de San Andrés, que evidencian la fabricación de azulejos cuadrados en el siglo XIV.

técnica de "azulejo de labores" inicialmente y la posterior "de cuenca y aristas" nos iba a proporcionar.

Los azulejos de arista se fabricaban presionando el barro contra matrices de madera tallada, evolucionando posteriormente al empleo de moldes metálicos, que permitirían una impresión mucho más clara, para conseguir perfiles más limpios y definitorios.

Las dimensiones de los formatos utilizados en la fabricación de las piezas cerámicas han ido variando, aunque se establecerá la forma cuadrada de 13 x 13 centímetros como la más habitual para conformar en un conjunto de cuatro azulejos el diseño completo del motivo.

Fig. 218. Motivos florales del Cenador de Carlos V, conformados por cuatro azulejos con dimensiones aproximadas de13 cm de ancho por 15 cm de altura.

En la Sevilla del siglo XVI también empieza a proliferar las decoraciones de los techos con los denominados "azulejos por tabla", influenciada por la arquitectura visigoda del siglo VI, que nos implantó el hábito constructivo de formar techos con vigas de madera, que a su vez se cerraban con tablas y en ocasiones se combinaban con ladrillos cerámicos. Hera frecuente que a estos azulejos se le dejaran unos fajas en la menor dimensión para facilitar su sustentación en los vigas de los techos.

Fig. 219. Panel de 4x3 azulejos por tabla, de arista. Siglo XVI. Piezas expuestas en el Real Alcázar de Sevilla. 2012.

Los azulejos empleados en el Cenador de Carlos V van a provenir de los talleres alfareros de Triana[158], siendo aquí la composición principal entremezclar los elementos florales con las figuras geométricas. Aunque para enfatizar la etapa imperial del reino de España, nos encontramos en las hiladas superiores azulejos con el escudo de los Austrias y con el lema de "plus ultra".

Fig. 220. Azulejos con motivos heráldicos para el remate de los paños de azulejos.

Fig. 221. Revestimiento interior del Cenador, empleando azulejos de arista con motivos vegetales con remarcados con cenefas. Fachada oeste. Fotografía del autor. 2012.

Aunque en los paños exteriores de las fachadas sur y norte encontramos representaciones de animales entremezclados con algunas figuras mitológicas: fauno, sátiro[159], unicornio, minotauro (monstruo con cuerpo de hombre y cabeza de toro) y el centauro (con torso de hombre y de la cintura para abajo como un caballo).

Para la conformación de todos los paños de azulejos, diferenciados por los motivos empleados o por sus gamas de colores, se emplean las cenefas de lazo para remarcados por fragmentos como si fuesen tapices decorativos.

[158] Se tiene constancia en las hijuelas de los archivos de los RR.AA. de pedidos a los hermanos Polido.
[159] Se le representa de varias formas, pero la más común es la de una criatura mitad hombre mitad carnero, con orejas puntiagudas y cuernos en la cabeza, abundante cabellera, una cola de cabra y priapismo permanente.

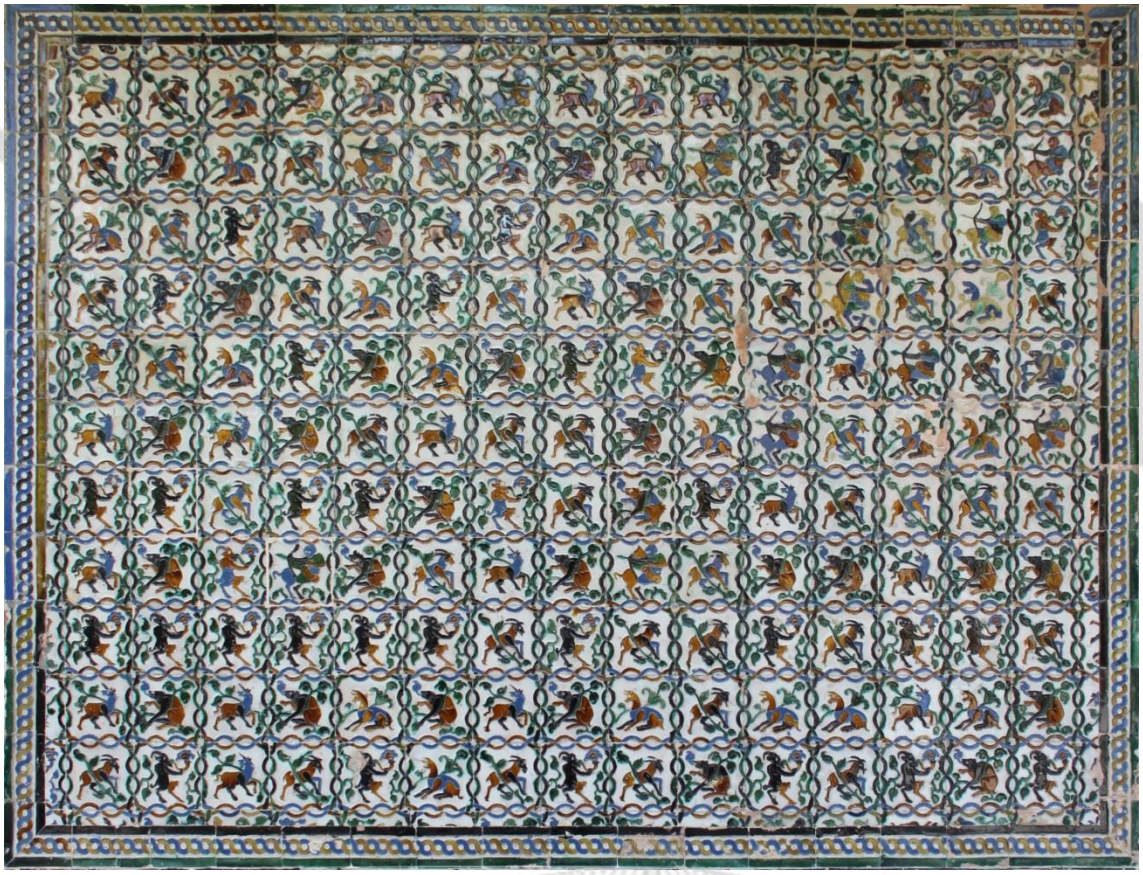


Fig. 222. Azulejos con animales y personajes mitológicos Paño en el extremo izquierdo de la fachada Norte. Fotografía rectificada del autor. 2012

Las reminiscencias mudéjares son evidentes, ya que la franja inferior de cada muro queda revestida en ambas caras por un zócalo de piezas cerámicas en formas de estrella de seis puntas, utilizando los colores azul claro, verde, marrón y negro o azul oscuro. Arranca con una fila de piezas rectangulares, compuestas por una línea de color verde oscuro, una posterior cenefa de lazo azul-melado y otro listero de color azul claro. Estas darán paso a tres filas de estrellas de seis puntas, con acabados vidriados en cuatro colores y colocadas entremezcladas. La pieza blanca se emplea para el relleno del fondo adquiriendo geometrías variadas para ajustarse a los huecos dejados por las estrellas: rombo, trapecio y hexágono alargado[160].

Fig. 223. Zócalo exterior formado un mosaico estrellas de cerámica vidriada entre dos cenefas de azulejos de arista. Paño inferior izquierdo de la fachada Norte. Fotografía rectificada del autor. 2012

[160] Ver el despiece realizado en el libro Alicatados de Sevilla (BECERRA, 1992: 251).

El paño quedará rematado con la misma composición de la cenefa del arranque: un listero azul, pieza de lazo y listero marrón, y a continuación dos azulejos cuadrados colocados simétricamente con motivos florales e incrustación de una figura humana que se van repitiendo a lo largo del zócalo.

Otra evidencia del arte islámico es el empleo de yeserías como remate superior de los alicatados exteriores. Una faja de 80 cm separa los revestimientos de cerámica vidriada con las vigas del artesonado de las galerías.

Fig. 224. Friso de yeserías sobre los alicatados de la fachada oeste del Cenador. Fotografía restituida. 2013.

Fig. 225. Yeserías sobre el dintel de la puerta de acceso al interior del Cenador. Fotografía restituida. 2013.

8.1.2.3. La arquitectura del Cenador

Una vez descritos todas las partes que conforman el volumen del Cenador de la Alcoba, podemos afirmar que la arquitectura del edificio es una fusión de elementos moriscos con otros nuevos, de estilo renacentista, que introduce la influencia en la época del género italiano, incorporados en una arquitectura andaluza tradicional que destaca por una geometría funcional y de líneas sencillas.

La nueva arquitectura estuvo pensada para quedar envuelta en una vegetación exuberante y trasladar a los moradores del palacio al disfrute de los jardines de la anterior etapa islámica. La habitación creada no pierde nunca su función de lugar fresco, que invita al descanso y contemplación en las tardes estivales de Sevilla, al abrirse huecos hacia las cuatro galerías y permitiendo una ventilación cruzada: una puerta de acceso al interior mirando al sur, y una ventana centrada en cada muro para las demás orientaciones.

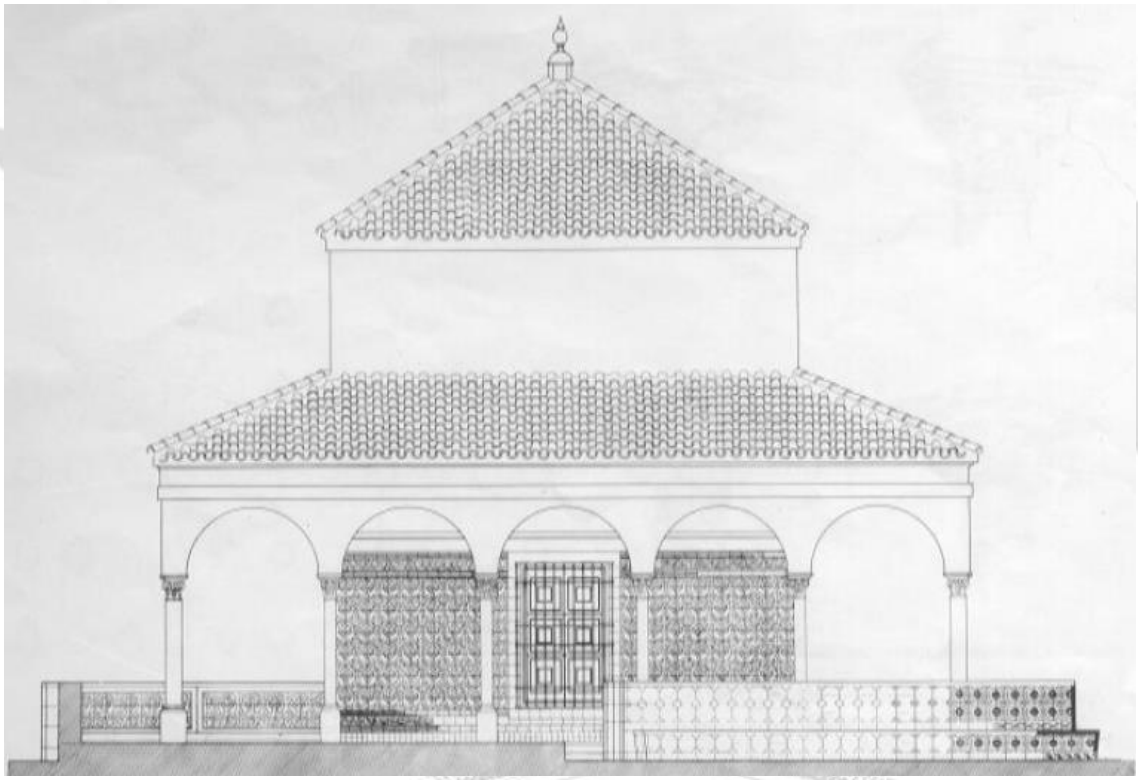


Fig. 226. Alzado de la facha Oeste del Cenador. Dibujo en papel vegetal, 654 x 914 mm, tinta china. Autor desconocido. Fuente: Archivo de la Cátedra de Análisis de formas Arquitectónicas de la E.T.S. de Arquitectura de Sevilla. Curso 1971/1972. Publicado en la Revisa de Arte Sevillano. Nº2. 1982

Y presidiendo toda la sala encontramos una fuente central que vierte el agua a un canal de mármol abierto en el suelo para conducirla, pasando por el eje de la puerta, hacia la galería exterior sur.

Fig. 227. Puerta de acceso a la sala central con orientación sur. 2013.

Si se franquea la puerta hacia el interior, nos veremos introducidos en una gran sala engalanada en sus cuatro paredes por paños cerámicos con elementos florales, inspirara en los grandes tapices del palacio real. Su planta prácticamente cuadrada queda rematada por una cúpula esférica de gran riqueza ornamental, empleando meridianos de artesones hexagonales con magistrales tallados y engalanados en el centro por macollas florales. El resto del artesonado de media esfera quedará conformado por paralelos de formas romboidales, rematado todo el conjunto por un gran artesón.

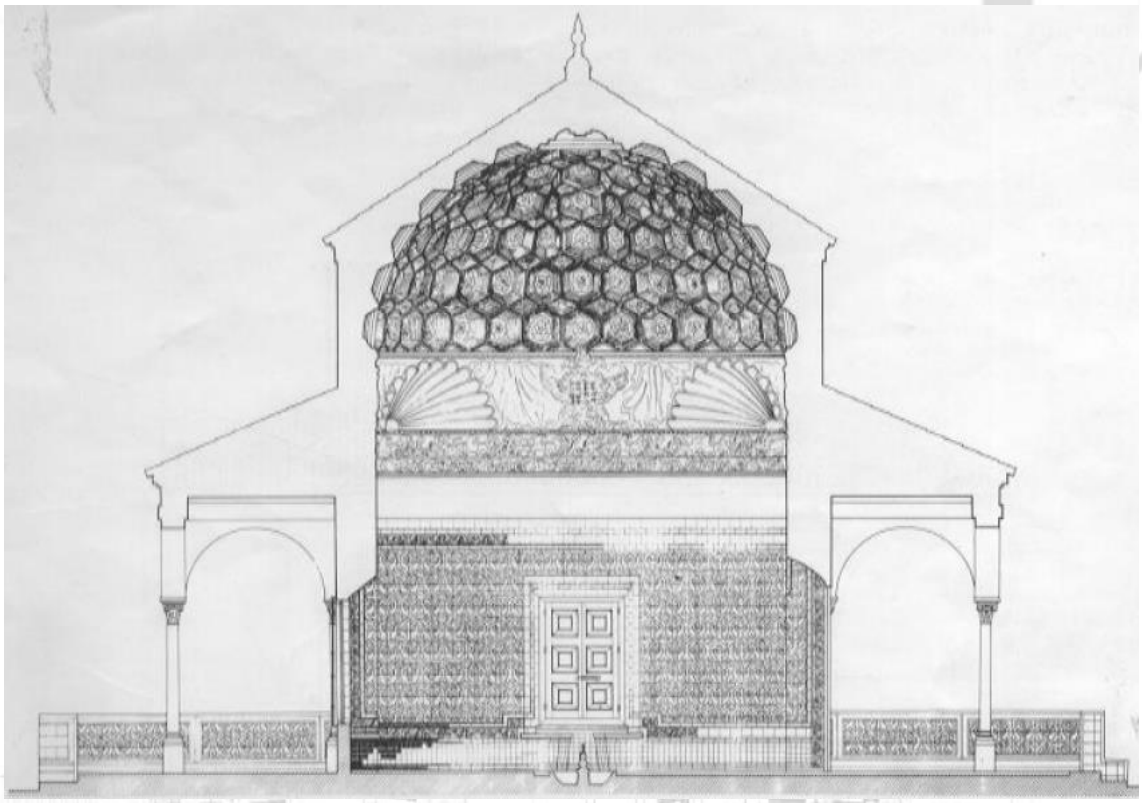


Fig. 228. Sección vertical del Cenador hacia el Este. Dibujo en papel vegetal, 654 x 914 mm, tinta china. Autor desconocido. Fuente: Archivo de la Cátedra de Análisis de formas Arquitectónicas de la E.T.S. de Arquitectura de Sevilla. Publicado en la Revisa de Arte Sevillano. Nº2. 1982.

La semiesfera quedará apoyada por conchas enclavadas en las esquinas de la planta cuadrada, continuadas por hojas de acanto y presididas en el centro de los cuatro lados por emblema imperial. Se piensa que el maestro mayor de carpintería Sebastián de Segovia trabajo en esta obra majestuosa por su similitud con la cúpula de la antigua capilla del palacio de Carlos V.

El doble friso interior que sirve de transición entre la techumbre y los muros que cierran la habitación del Cenador no llevará inspiración mudéjar, sino empleará una yesería superior con figuras mitológicas en movimiento que se repiten por pares simétricos, dejando para la parte inferior otro ritmo repetitivo con parejas de niños entrelazados que sostienen una bandeja con la cara del emperador. Aquí encontramos una gran semejanza con las decoraciones renacentistas de las galerías superiores del Patio de las Doncellas.

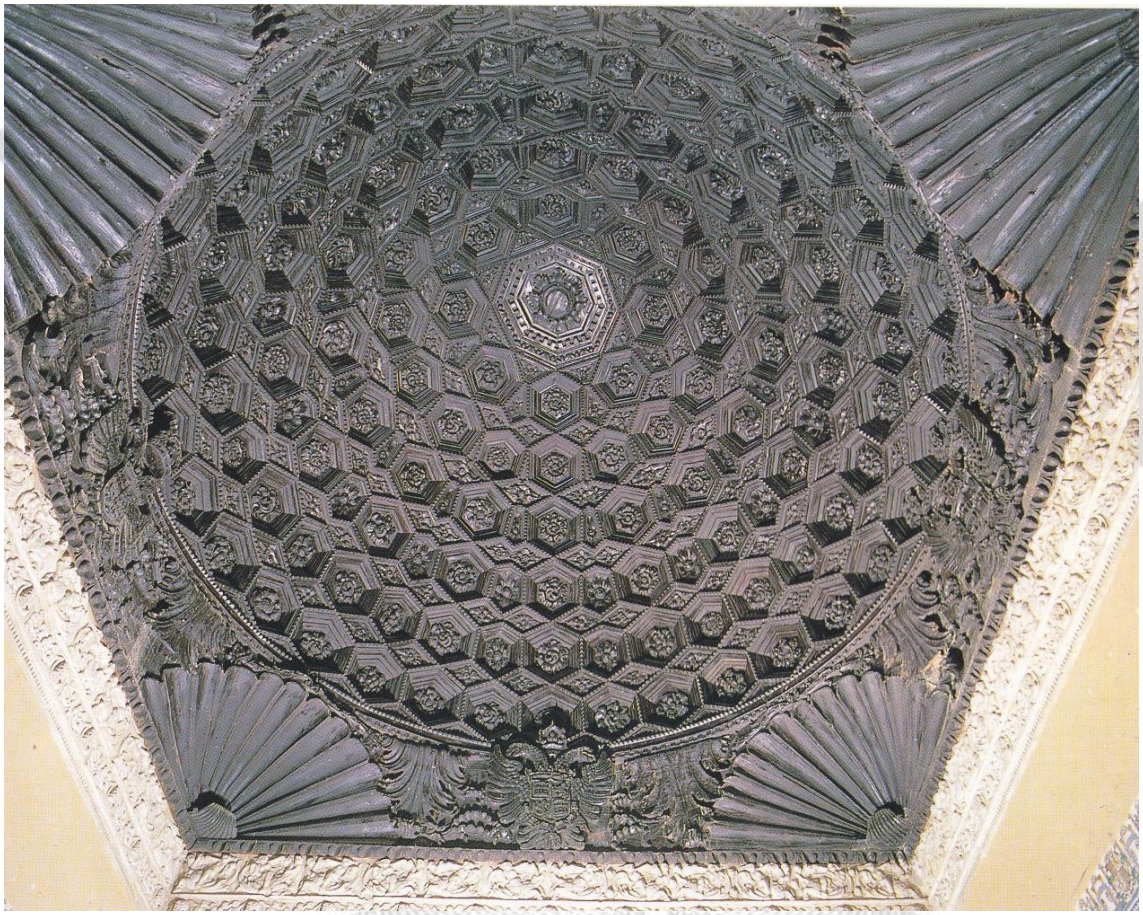


Fig. 229. Cúpula del Cenador de Carlos V, apoyada en cuatro conchas de esquina. Los escudos imperiales, las hojas de acanto y demás elementos del artesonado son de Sebastián de Segovia. Fuente: El Alcázar de Sevilla bajo los Austrias. Ana Marín. 1990.

La composición del pavimento es de un ingenio y perfección impresionantes, aunque su admiración pasa desapercibida por el gran desgaste sufrido en muchas de sus piezas. Juan Fernández proyectó un verdadero mosaico de piezas cerámicas de diversos colores entremezcladas con recortes de baldosas de barro, conformando una malla radial. Se le incrusta olambrillas de cerámica vidriada en las intersecciones de cada trapecio y diferentes figuras geométricas en el centro: círculo, óvalo, rombo, pentágono, corazón, estrella de ocho puntas y estrella de seis alternado la punta con la esquina redondeada.

En el interior se confecciona una espectacular alfombra que emplea representaciones geométricas y elementos vegetales, con la inserción de pequeñas piezas cerámicas de variados colores. Destaca la franja circundante al canal de mármol (para la recogida del agua vertida) que la forma pequeños rombos vidriados de diferentes colores. Utiliza unos listeros de azulejos de color verde para rematarla en sus extremos, abriéndose en el centro de la sala para confeccionar un cuadro donde quedará inscrito el círculo cerámico que envuelve la fuente. En las dos esquinas superiores externas al mismo incrusta motivos florales en la dirección de las diagonales junto a animales mitológicos a ambos lados: el unicornio, el simio perro y la lagartija.

Fig. 230. Pavimento de la sala central del Cenador, destacando la franja circundante al canal de mármol, para la recogida del agua, formada por pequeñas piezas vidriadas romboidales de colores variados.

Fig. 231. Cuadrante noreste del cuadro central con incrustaciones vegetales en la diagonal. Se colocan figuras mitológicas y animales a ambos extremos. Fotografía del autor. 2012.

Hay que enfatizar en el cuadrante de la derecha más cercano a la entrada la inscripción de 1546, fecha de finalización de las obras, mientras que a su izquierda se sitúa un título con el nombre del maestro mayor de dichos trabajos: "IVAN HZ".

Fig. 232. Cartelas incrustadas en las esquinas del mosaico central: a) Suroeste: IVAN HZ, nombre del arquitecto; b) Sureste: 1546, año finalización de las obras. Fuente: El Alcázar de Sevilla bajo los Austrias. Ana Marín. 1990

Para el resto del piso se han conformado una retícula de tiras cremas, fugada hacia el centro de la sala y que enmarcan piezas geométricas en su interior entrecaladas en el pavimento de barro. Entre los poyetes dispuestos bajo las tres ventanas encontramos un motivo vegetal y un característico laberinto realizado con tiritas de azulejos (al poniente).

Fig. 233. Laberinto posicionado en el eje horizontal del pavimento junto a la ventana de poniente.

El arquitecto F. Chueca[161] llega a publicar una planta del Cenador como una representación fiel de su perfecta simetría, donde describe que "se trata de una autentica concepción renacentista, algo así como una idea de Leonardo

[161] Ars Hispaniae. Arquitectura del siglo XVI, vol. 11, pág. 208.

trasplantada al cielo andaluz; por su dominadora cubicidad, sus materiales y técnicas, una creación oriental…, la pieza cuadrada, con cuatro ventanas en sus ejes, tiene la misma claridad geométrica".

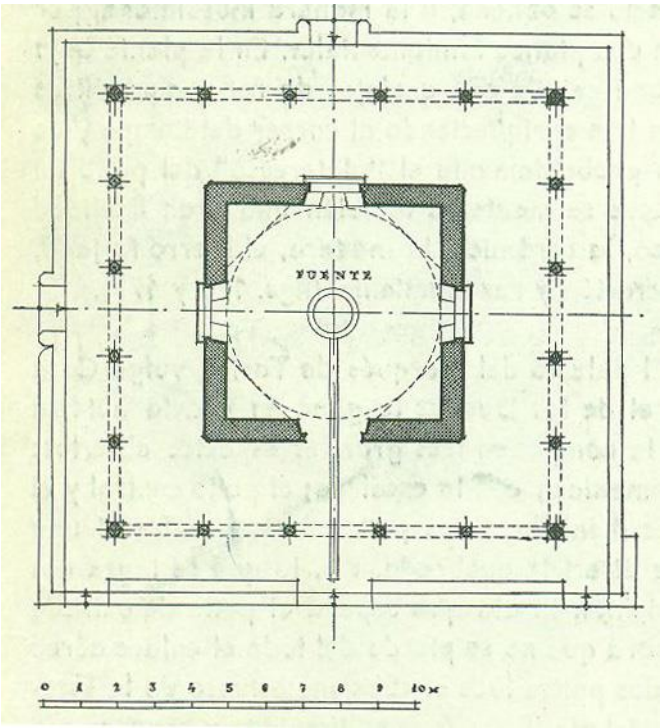


Fig. 234. Planta del Pabellón de Calor V en el Alcázar de Sevilla. Fuente: F. Chueca.1953.

Su composición ha sido también estudiada por el profesor D. Alfonso Jiménez Martín, llegando a realizar un interesante levantamiento planimétrico de la planta del Cenador, basado principalmente en el encaje de dos formas geométricas: utiliza un primer cuadro para marcar los ejes de los cuatro pórticos perimetrales, y un segundo marco de dimensiones 10 x 10 metros, girado 45º respecto a un punto de referencia único, que lo establece en el centro de la fuente, para inscribir la planta de la sala central. Destaca la deducción del trazado de los planos de sus cuatro esquinas achaflanadas por la tajadura, que efectúa el anterior cuadro delimitador, a los muros en un ancho de 13 cm. También representa con línea de trazos la proyección de los arcos entre columnas de las cuatro logias perimetrales, siendo la gráfica del plano de Chueca

Jiménez reconstruye la planta para su análisis geométrico y compositivo, describiendo detenidamente todos los elementos integrantes del pavimento de la sala central, y lo publica junto a una planimetría del mismo edificio, realizada con técnicas tradicionales de delineación, desarrollada por alumnos de la escuela E.T.S. de Arquitectura de Sevilla. Aprovechando su etapa de profesor junto a D. Pedro Rodríguez Pérez, se propone exponer la arquitectura más relevante del Arte Sevillano sacando a la luz los trabajos del pequeño fondo de dibujos que disponía la asignatura de Análisis de Formas Arquitectónicas, entre los cursos 1971-72 y 1973-1974[162].

[162] JIMÉNEZ MARTÍN, (1982): "Dibujos de Arquitectura Sevillana I. El Cenador de la Alcoba". Revista de Arte Sevillano. Nº2, pp. 51-66. Sevilla.

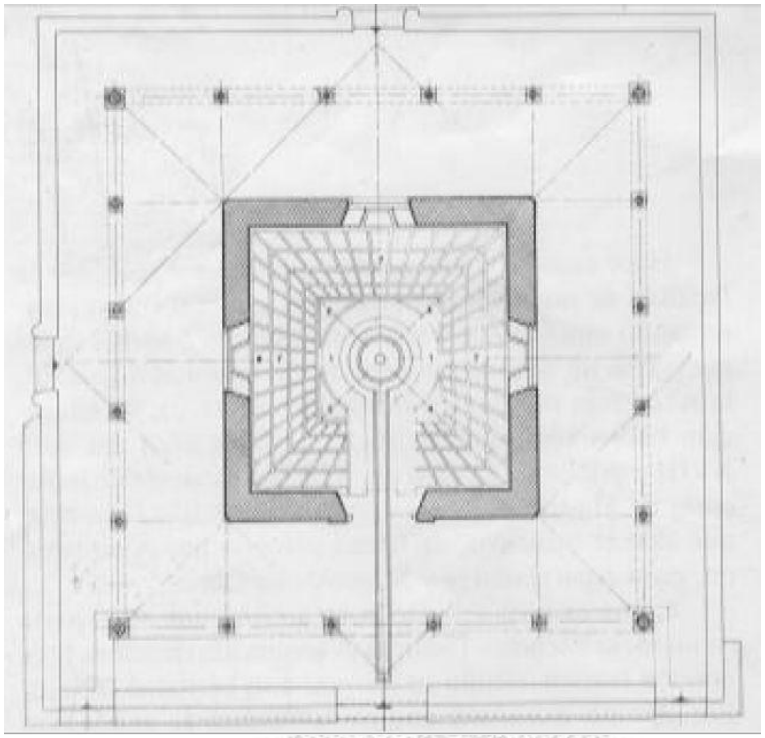


Fig. 235. Planta del Cenador de la Alcoba. Papel vegetal, 594 x 417 mmm, a tinta. Autor: A. Jiménez. Archivo del autor. Publicado en la Revisa de Arte Sevillano. Nº2. 1982.

En los apartados anteriores hemos ido insertando algunas de estas láminas, donde hemos podido apreciar un trabajo muy interesante sobre la composición de los paños de azulejos, mostrándose los motivos más relevantes utilizados en su azulejería. Aunque en la misma publicación, el profesor Jiménez pone hincapié en las limitaciones de los alumnos en cuanto a que no disponen de medios idóneos para la adquisición de algunas medidas, llegando a detectar que las alturas de los cuerpos superiores no corresponden con las reales, "y por tanto hay que suponer que la cubierta de pabellón está unos 80 cm más alta" (JIMENEZ, 1982:54).

También queda representada la faja de yeserías que corona la puerta de acceso a la sala central, quedando los lienzos contiguos en blanco, al igual que algunos paños de azulejos debido probablemente a limitaciones en el dibujo por los innumerables detalles detectados en los revestimientos del edificio. Otro error detectado en estos planos es que se han representado los capiteles de las cuatro columnas centrales con motivos corintios idénticos, cuando en la realidad son distintos.

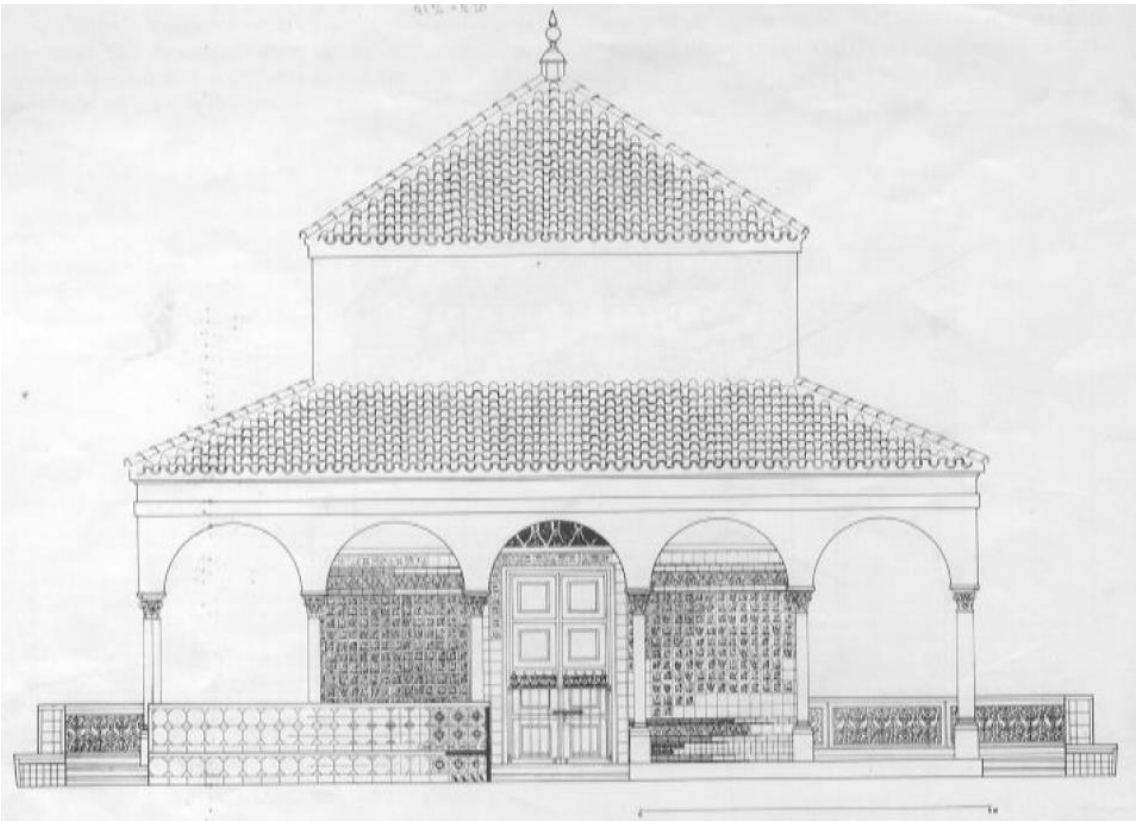


Fig. 236. Alzado de la facha sur del Cenador. Dibujo en papel vegetal, 654 x 914 mm, tinta china. Autor desconocido. Fuente: Archivo de la Cátedra de Análisis de formas Arquitectónicas de la E.T.S. de Arquitectura de Sevilla. Curso 1971/1972. Publicado en la Revisa de Arte Sevillano. Nº2. 1982.

8.1.3. La planimetría del Alcázar

Aunque era reconocido por muchos historiadores y expertos en el Patrimonio el gran valor histórico y arquitectónico del conjunto del Alcázar de Sevilla, eran muy escasas hasta la fecha (finales del siglo XX) las representaciones planimétricas efectivas que mostraran los innumerables aspectos de su singular arquitectura, conformando una de las más hermosas simbiosis artísticas nunca producidas de un conjunto arquitectónico. Era, por tanto, necesario disponer de un adecuado estudio y de una planimetría precisa que permita a los investigadores un conocimiento más completo y científico de su realidad física. Envuelto en dicha cuestión, el profesor Antonio Almagro llega a reflexionar sobre "*la necesidad de emplear métodos idóneos de análisis que nos permitan conocer correctamente los bienes a proteger. Y de entre estos métodos, no cabe duda de que el levantamiento planimétrico es el primero a utilizar pues, para su realización, hemos de conocer tanto la forma como la dimensión de los objetos, y nos permite finalmente trasferir este conocimiento, merced a los convenios de representación de uso común, en forma de planos, dibujos o maquetas*"[163].

Reconocemos que la iniciativa tomada por el Patronato del Real Alcázar de Sevilla de proporcionar una documentación gráfica y métrica del conjunto monumental ha sobrepasado con creces la simple publicación de la arquitectura del Alcázar con la intención de difundir sus altos valores artísticos.

[163] Planimetría del Alcázar de Sevilla. Patronato del Real Alcázar. Escuela de Estudios Árabes, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Granada, 2000.

Una planimetría detallada y precisa que nos ha servido, para el caso del edificio elegido (El Cenador de la Alcoba), como valioso y sólido sustento en nuestra investigación para contrastarlo con los datos suministrados por los nuevos sistemas de levantamiento y representación gráfica.

➢ El levantamiento fotogramétrico del Alcázar

El Patronato del Real Alcázar de Sevilla, a raíz de sucesivos convenios de colaboración científica entre los años 1997 y 1999, va a encargar a la afamada Escuela de Estudios Árabes del Consejo Superior de Investigaciones Científicas un levantamiento planimétrico de su rico conjunto arquitectónico, que se plasmarán en una serie de representaciones de las edificaciones más emblemáticas.

El Ayuntamiento de Sevilla ya era conocedor de la importancia de disponer de las características dimensionales y estado actual de las construcciones defensivas y palaciegas del recinto monumental. Por lo que Gerencia Municipal de Urbanismo anteriormente había gestionado un levantamiento del conjunto arquitectónico mediante sistemas topográficos, lo que permitió disponer de una planta general lo más fiel a la realidad. Paralelamente se utilizó la fotogrametría aérea para obtener una planimetría de las cubiertas del Alcázar y edificios colindantes, que incluían tanto al archivo de Indias como a la Catedral.

Las técnicas empleadas para la realización de las proyecciones ortogonales más representativas de los diferentes edificios analizados debían de cumplir dos facetas fundamentales: constituir unos sistemas fiables de medición y representación, y que a su vez auxiliaran en unos trabajos que se suponían iban a ser meticulosos por intervenir en un conjunto arquitectónico rico en detalles y de grandes extensiones. Definitivamente los edificios más representativos del Alcázar fueron levantados utilizando la técnica fotogramétrica al estar bastante contrastada su valía y eficacia en trabajos de levantamiento del patrimonio arquitectónico[164].

Hay que indicar que aunque la fotogrametría ha dado un gran salto en la rapidez con la que se obtienen medidas sin apenas perdida en la precisión, a finales de la anterior centuria se consideraba como una técnica que nos aportaba una gran homogeneidad en la exactitud de medidas y en la plasmación de las formas de los innumerables detalles arquitectónicos y decorativos que han ido superponiéndose a los largo de los siglos sin que se perdiera las características propias de elementos con gran valor patrimonial y que han perdurado en el tiempo.

El levantamiento fotogramétrico del conjunto arquitectónico del Alcázar facilitó la adquisición de muchos detalles de las yeserías y de las figuras geométricas en

[164] Para el levantamiento se emplearon las cámaras semi-métricas Rollei 6006 metric y Hasselblad SWC. La medición de puntos de control se confeccionó con los taquímetros Wild T1000 y TCR303. La restitución por fotogrametría fue realizada con los restituidores Leica SD2000 y Adam MPS2. Para los trabajos de detalle se auxiliaron de la cámara digital Kodak DC200 calibrada y del sistema de restitución digital VSD de la universidad AGH de Cracovia.

los artesonados, con una reducción de tiempo en la toma de medidas y con una precisión difícilmente alcanzable con otros métodos de medición vigentes. Podemos observar en la sección longitudinal de la siguiente imagen (Fig. 165), como la calidad de los motivos decorativos de los paramentos de yesos, así como la geometría que conformaba la cúpula del Salón de Embajadores, dan testimonio de la precisión adquirida en la representación de pequeñas piezas.

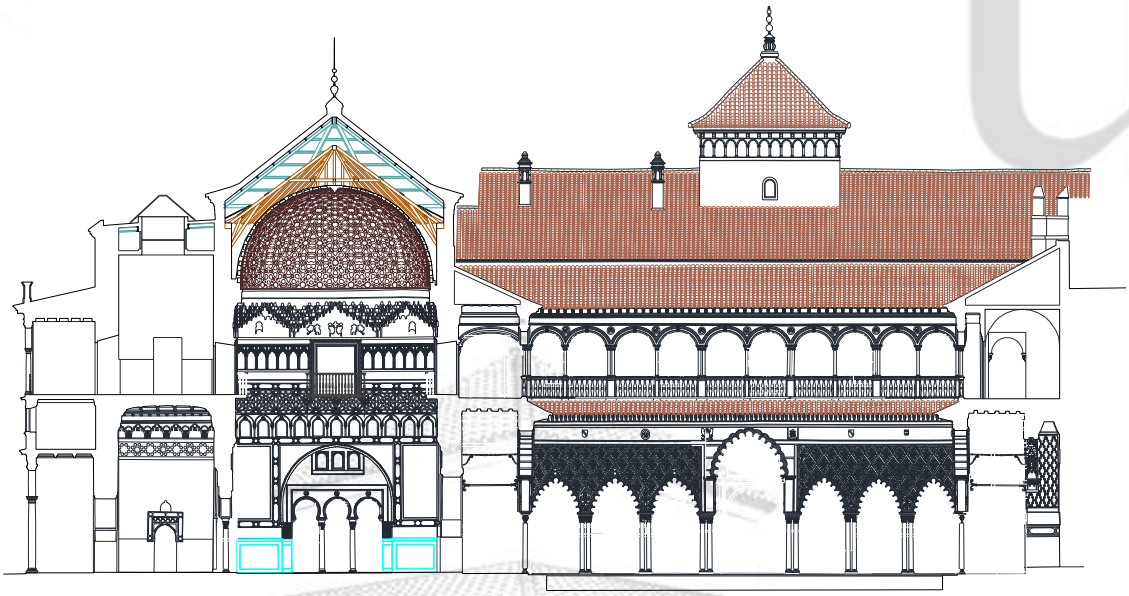


Fig. 237. Sección longitudinal hacia el Norte del Palacio del Rey Don Pedro. Planimetría del Alcázar de Sevilla. Plano 31. Escuela de Estudios Árabes del CSIS.

En los paños del Patio de las Doncellas la técnica fotogramétrica sirvió para capturar las formas geométricas de los muchos motivos inclustados en los denominados *sebka* de yesería, encajando cada pieza dentro del conjunto arquitectónico y sin pérdida de sus proporciones globales.

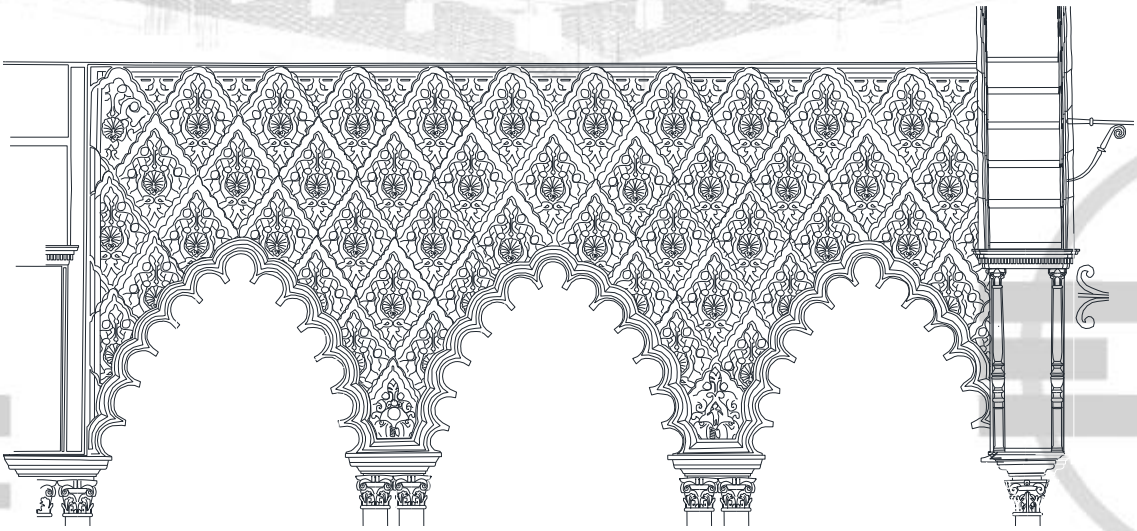


Fig. 238. Adquisición de los contornos de los diferentes motivos incrustados en los paños de yesería.

Finalmente se recurrió a las orto-proyecciones tradicionales de plantas, alzados, y secciones facilitadas por las técnicas de delineación en CAD, aunque podemos indicar que se ha echado de menos los modelos tridimensionales para un

completo análisis arquitectónico en el espacio. Pero conjeturamos que el modelado bajo el auxilio de una aplicación gráfica como AutoCAD, en base a unas polilíneas 2D que establecerían contornos de geometrías diversas para proceder posteriormente a una extrusión, era una tarea muy laboriosa (si las comparamos con las actualmente aplicaciones BIM), y que dilataría bastante los tiempos de producción.

Lo que si debemos de engrandecer, como investigadores que somos, es el magnífico trabajo desarrollado por el equipo de la Escuela de Estudios Árabes del CESIC, dirigida por el arquitecto Antonio Almagro Gorbea, al proporcionarnos una planimetría actual del patrimonio arquitectónico del Alcázar, que nos ha servido como base para desarrollar una labor suplementaria de documentación gráfica utilizando nuevas técnicas de levantamiento y modelado, siempre encaminadas a la mejor conservación y mantenimiento del conjunto monumental. Como veremos en los apartados siguientes, las proyecciones del Cenador de la Alcoba han sido base fundamental para el desarrollo del modelo BIM, proporcionándonos información importante de su geometría.

8.2. Modelar con elementos constructivos paramétricos en el proyecto HBIM

En cualquier proyecto desarrollado con el sistema BIM cada elemento desempeña una labor constructiva dentro del conjunto arquitectónico, pero para el caso de una intervención en el patrimonio el proyecto HBIM, además de seguir la sistemática anterior, debe acondicionar el modelo a las particulares de un edificio voluble en el tiempo. Esta peculiaridad de manifestar lo existente hace que la sistemática elegida para levantar el modelo de información lleve aparejada tanto la técnica constructiva del momento como los factores trasgresores a lo largo de su historia.

Los software actuales bajo el entorno BIM suelen incorporar herramientas de diseño para el modelado de elementos propios de sistemas constructivos –forjados, pilares, vigas, cubiertas y una infinidad de objetos paramétricos enfocados a la representación de piezas arquitectónicas, perfilerías normalizadas y elementos de sistemas tecnológicos patentados o preestablecidos- que nos facilitan el trabajo de la construcción del modelo. Pero en el caso del levantamiento de un edificio patrimonial, tendríamos que remontarnos a técnicas constructivas no habituales en la actualidad o que incorporan ornamentos propios de estilos arquitectónicos muy anteriores a los actuales.

El empleo de la tecnología BIM para el modelado de una arquitectura pre-existente, como es el caso de los modelos expuestos, no conllevará inicialmente un proceso diferente al de una labor de construcción del edificio. Así pues, la sistemática que hemos empleado se ha semejado a una exploración de todos los elementos por fases constructivas, que iniciada desde los cimientos ha ido creciendo por pisos sucesivos.

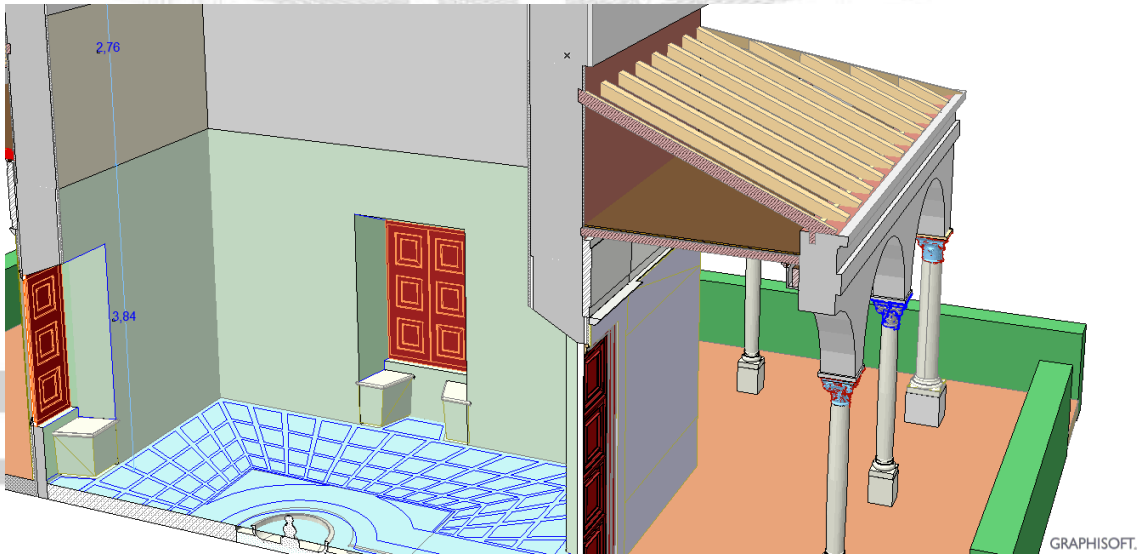


Fig. 239. En el modelo del Cenador de Carlos V se han incorporado todos los componentes entre los niveles o pisos establecidos al inicio como una estructuración ascendente del levantamiento.

Esta dualidad modelado-constructiva ha estado íntimamente vinculada a una labor no menos importante de análisis arquitectónico, donde nos encontramos deformaciones y vestigios ocasionados por la larga trayectoria del ente patrimonial. El empleo de sucesivas secciones ortogonales (horizontales y verticales) obtenidas a partir de los equipos de medición (fotogramétricos o por escaneado) ha beneficiado considerablemente las tareas de modelado del Cenador. Nos ha permitido la incorporación exacta de los elementos paramétricos en el proyecto BIM (muro, pilar, forjado, viga, cubierta,…) y a la vez nos ha facilitado que se ajustasen a la geometría real del edificio.

El procedimiento que expondremos en los apartados siguientes, más que presentar un manual de uso de un programa de diseño para la arquitectura y construcción, viene a examinar los condicionantes que nos van a afectar en el proceso de creación de un modelo gráfico, y a la vez de gestión de datos, para implementarlo en un edificio histórico. Con la peculiaridad de que confluyen disciplinas que emplean metodologías diversas pero que necesariamente hay que conjugar para que la información fluya adecuadamente en un modelo interdisciplinar y eficiente.

8.3. Levantamiento del Modelo de información

Antes de proceder al modelado para la obtención de una maqueta gráfica con información precisa y eficiente hay que disponer de una medición real de la geometría actual del edificio. Por tal motivo, inicialmente empleamos como base la Planimetría del Alcázar de Sevilla elaborada por la Escuela de Estudios Árabes del Consejo Superior de Investigaciones Científicas en el año 2000, que incorpora una planos con las dimensiones actualizadas del Cenador de Carlos V (aunque muy escasa por ser tres únicas proyecciones) y que consideramos es una documentación veraz para nuestras pretensiones.

Pero debemos de suponer que en estos quince años transcurridos el edificio ha podido sufrir movimientos en sus elementos de carga que han hecho variar los mediciones, sin menospreciar las patologías que hemos observado en revestimientos y alicatadas motivadas muchas por una falta de mantenimiento. Y si además nos basamos en lo expuesto en el estado de la cuestión sobre el gran avance en los últimos años de las técnicas gráficas de levantamiento, lo más procedente es realizar una nueva medición de las geometrías del edificio empleando la tecnología más actualizada. Así que hemos procedido a un nuevo levantamiento utilizado un equipo escáner láser 3D, modelo ScanStation C10 de Leica, que se ha contrastado con la documentación aportada por la Escuela de Estudio Árabes (EEA), a la que se le encomendó la labor de levantar fotogramétricamente los palacios y edificios más emblemáticos del Alcázar, utilizando para ello la técnica fotogramétrica.

8.3.1. El empleo de la planimetría fotogramétrica

En una primera fase de análisis del edificio se ha tomado medidas in situ de las geometrías de los elementos cercanos del Cenador y contrastarlas con la de los planos de la EEA, utilizando para ello un distanciómetro láser y un flexómetro. Paralelamente se ha construido virtualmente el modelo con el Software ArchiCAD® auxiliándonos de las vistas del plano 37 de la Planimetría del Alcázar de Sevilla: Planta Baja, Alzado Sur y Sección hacia el Este[165].

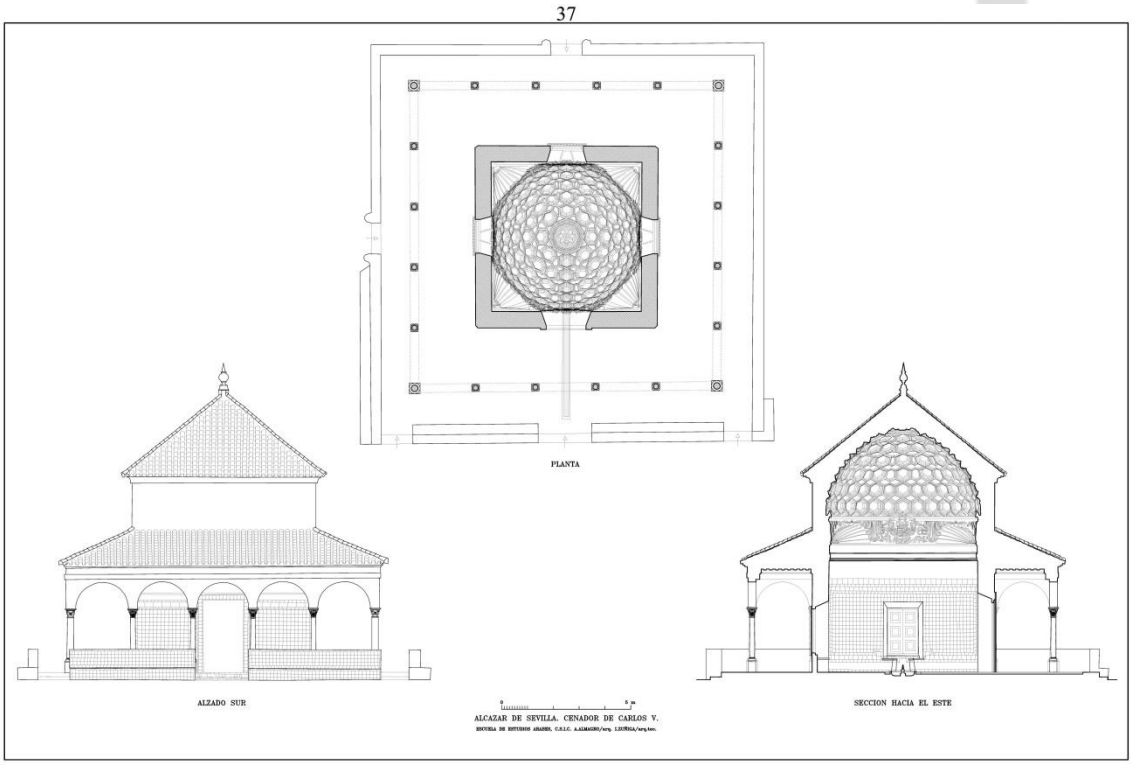


Fig. 240. Documentación en formato pdf, aportada por la Escuela de Estudios Árabes del CSIS. Arquitecto Antonio Almagro Gorbea. Planimetría del Alcázar de Sevilla. Pág. 37

La metodología llevada a cabo para el modelado del Cenador la podemos estructurar de la siguiente manera:

- Primeramente se ha organizado el proyecto en niveles de trabajo que, por las características del modelo, han concluido definitivamente en cuatro pisos:
    - Piso *-1. Cimentación*: el primer nivel es para introducir la plataforma elevada sobre la cual está apoyado el edificio respecto a la cota exterior de los jardines (nivel -0.29 m).
    - Piso *0. Planta Baja*: es el nivel de referencia del proyecto, que lo hemos hecho coincidir con la solería exterior, concretamente en el umbral de la puerta de acceso a la sala central por unificarse ambas solerías (nivel 0.00 m).

[165] La planimetría completa del Alcázar se ha dispuesto en formato pdf.

- Piso 1. *1ª Cornisa*: el siguiente piso coincide con la coronación de la primera cornisa y su encuentro con el emboquillado de la teja (nivel +4.25 m).

- Piso 2. *2ª Cornisa*: este nivel concordaría con el remate de la segunda cornisa y arranque de los faldones de última cubierta (nivel +7.59 m).

- Piso 3: *Remate Cubierta*: hemos introducido este último piso como referencia al apoyo del pináculo de cubierta (nivel +10.90 m).

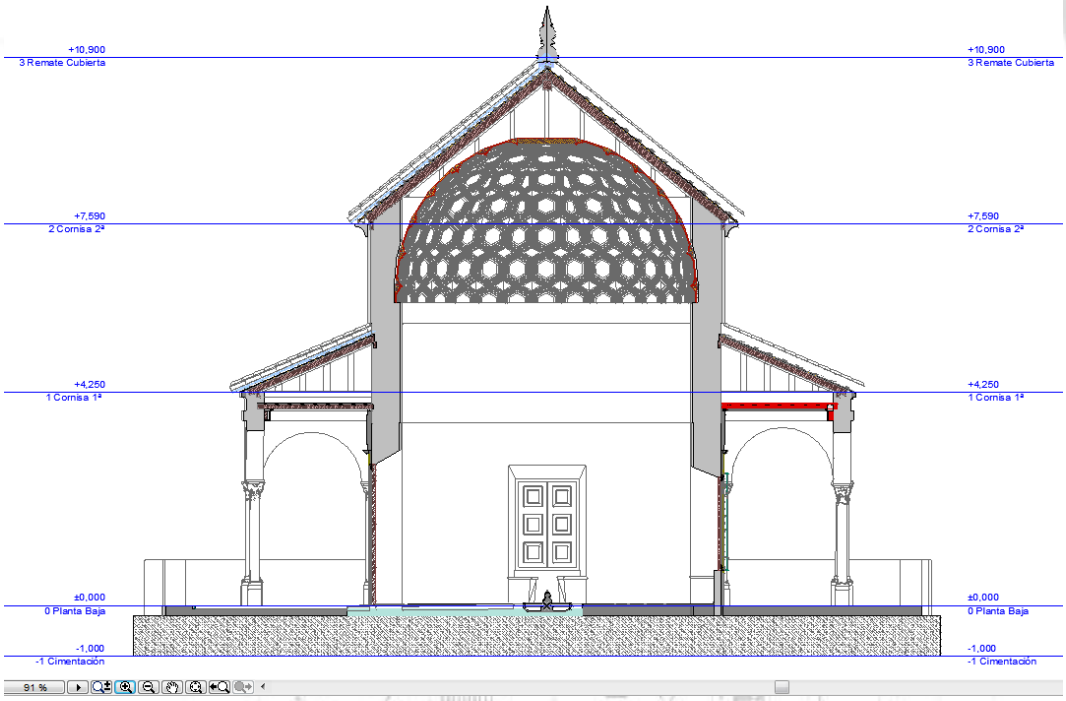


Fig. 241. Sección hacia el Oeste del modelo Cenador de Carlos V mostrando los niveles de pisos utilizados. Software ArchiCAD, 2014.

- Se ha delimitado el archivo pdf que contiene la planimetría del Cenador en tres sub-vistas para insertarlas por separado.

- La introducción de las proyecciones anteriores en el proyecto se ha realizado para que ejerza como plantilla en las vistas de trabajo correspondientes y marquen las geometrías de los elementos constructivos del modelo BIM:

  - La planta se ha vinculado al nivel 0.00, y ha servido de base para la incorporación de las columnas perimetrales y los muros de la sala central.

  - El alzado y la sección han valido de referencia para marcarlos niveles del pavimento, el techos de la galería y los faldones inclinados de las dos cubiertas.

- Las dos proyecciones verticales han sido de gran ayuda para capturar las alturas de los elementos menos accesibles en la toma de medidas: la 2ªcornisa y el remate de la última cubierta.

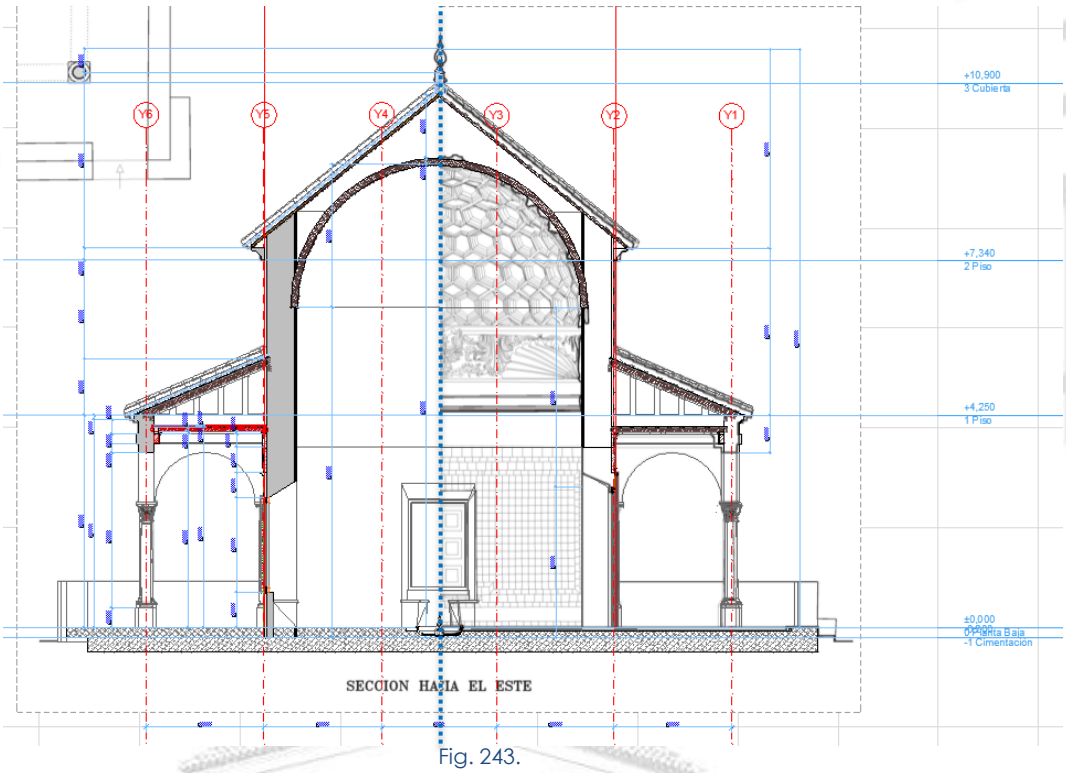


Fig. 242.

Fig. 243.

Fig. 244. Sección hacia el Este del modelo Cenador de Carlos V, mostrándose en el sector derecho la plantilla de referencia al vincular un archivo externo en formato pdf. Software ArchiCAD, 2012/2013.

Hay que señalar que en una primera etapa no se han teniendo en cuenta algunas deformaciones detectadas en los muros, desprendimientos de las yeserías exteriores que rematan los paños de azulejos u otras singularidades en los revestimientos por no ser sustanciales, al conjeturar que han podido ser motivadas principalmente por asentamientos propios de un edificio con una larga trayectoria histórica y por una falta de mantenimiento.

De las numerosas visitas realizadas al edificio, hemos podido constatar que existen desplomes en los muros de la sala central y abombamientos en los paños de azulejos, siendo bastante considerable el localizado a la izquierda de la puerta de acceso al Cenador. También son evidentes las desviaciones en las fábricas que conforman los arcos de las cuatro galerías perimetrales, posiblemente por movimientos puntuales de los pórticos (Fig. 243).

Fig. 245. Abombamiento en los alicatados exteriores de la fachada sur. Fotografía del autor. 2012.

Posteriormente hemos realizado un análisis meticuloso y comparativo de las proyecciones de la planimetría de la EEA-CSIC, y podemos afirmar que las deformaciones detectadas en las inspecciones sucesivas no quedan registradas en la grafía del plano. Pero lo más destacable es que hemos evidenciado poca concordancia entre los diferentes replanteos estudiados, apreciando una desviación considerable del eje que contiene la alineación del pórtico de la logia sur.

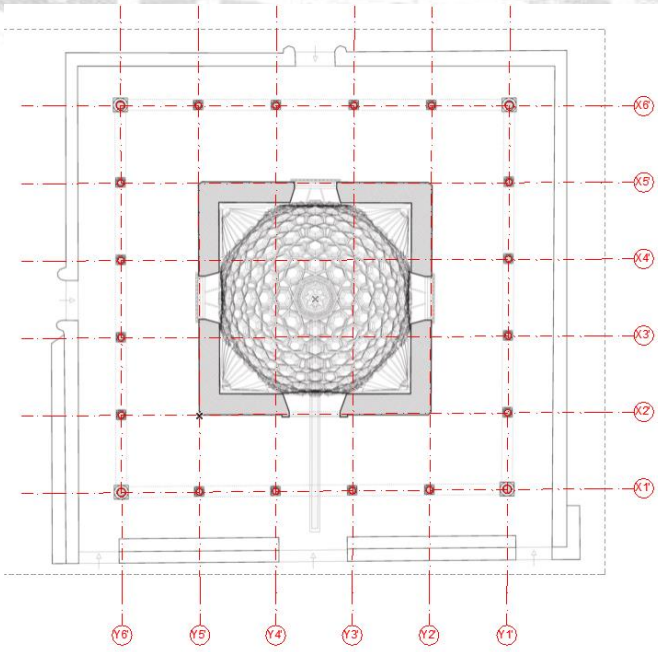


Fig. 246. Planta del Cenador de Carlos V levantada por la EEA-CSIC. La retícula de ejes ha sido incorporada en el proyecto HBIM. Vista generada desde ArchiCAD.

En la figura siguiente se muestra como los ejes X1'' (color verde), que marcan las alineaciones en el plano de Alfonso Jiménez, se desvían respecto a los X1'(color rojo) de la planta levantada por la EEA-CSIC: el desfase en la esquina Sur-Oeste es de 11 cm, mientras que en la Sur-Éste llega a ser de 21 cm. Cuestión que no fue tenida encuentra en la planta levantada por el profesor Alfonso Jiménez, posiblemente porque el plano toma como base formal de la planta del Cenador de la Alcoba una retícula ortogonal geométricamente proporcional.

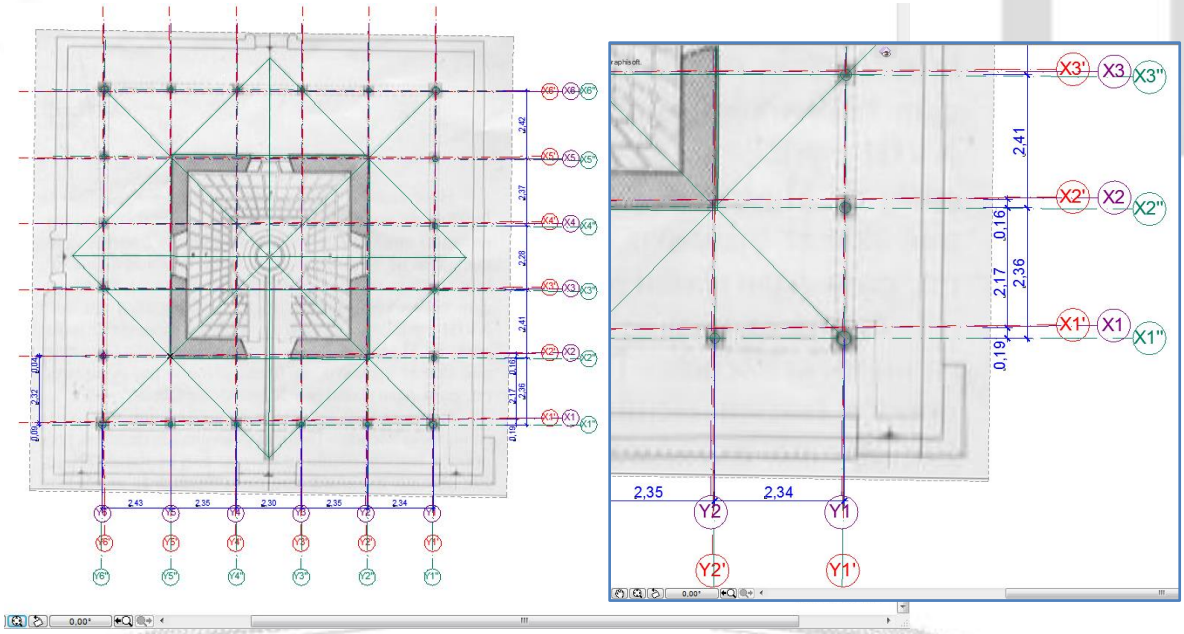


Fig. 247. a) Comparativa de los ejes que contienen las logias del Cenador. b) Las esviaciones se van incrementando a medida que nos acercamos al extremo Sur-Este.

Si nos basamos en la concepción del renacimiento de una arquitectura pulcra en sus proporciones, podemos aceptar que la planta simétrica pudo servir como plantilla original del replanteo del edificio. Pero hay otras circunstancias primordiales muy a tener en cuenta, como es el empleo de utensilios y técnicas constructivas propias de aquella época menos sofisticadas que las actuales, a lo que añadiremos los asentamientos propios por acoples prolongados de la cimentación en el terreno, y que han determinado una arquitectura con peculiaridades propias.

8.3.2. Escaneado del edifico por tecnología láser

En esta siguiente fase hemos empleado las nuevas técnicas de levantamiento por escaneado, con la intención de obtener una medición precisa de toda la geometría del Cenador. La nueva información espacial nos ha permitido detectar ciertos olvidos o descartes en anteriores levantamientos, y que ahora son fáciles de detectar, para que queden manifestados en las representaciones gráficas del modelo.

Hemos pretendido capturar la arquitectura vigente del Cenador mediante el uso de equipos de medición precisos, que incluyese todas las geometrías de los elementos emergentes con una alta densidad de puntos para no despreciar cualquier alteración o deformación ocasionada por la larga trayectoria temporal del edificio. Por las dimensiones del edificio pensamos que el método más idóneo en este momento era el sistema de escaneado 3D por láser, que nos permitiría obtener una información sólida y efectiva.

8.3.2.1. Procedimiento utilizado para la medición

Por el emplazamiento singular del Cenador, envuelto de naranjos y arbustos, hay que considerarlo una edificación aislada ya que toda su arquitectura puede ser visualizada desde los jardines del Alcázar en sus distintas perspectivas. Por ello, se replanteó un levantamiento con tres estacionamientos del equipo láser y que formaban un triángulo lo más regular posible para obtener las geometrías externas. Pero el edificio está rodeado de cuatro galerías porticadas que hacen que se oculten detalles de altos valores arquitectónicos, como las yeserías y el artesonado de los techos, e incluso los pedestales y las basas de las columnas que son abrigadas por los poyetes perimetrales. Dichos motivos hicieron imprescindible posicionar de nuevo el equipo en las logias, al menos dos veces más: en las esquinas Sureste y Noroeste.

Fig. 248. Vista del Cenador de Carlos V desde su fachada Sur, con la colocación de dianas en sus extremos.

Fig. 249. Emplazamientos del equipo Leica C10: a) posición exterior suroeste; b) posición interior sureste.

El número total de estacionamientos llegó a cinco, lo que supuso que en una fase siguiente de posprocesado se procediera a ensamblar los diferentes barridos láser en el software, utilizando las áreas comunes entre las sucesivos escaneos, para obtener finalmente el modelo completo.

Cada sesión o barrido con el láser escáner estará referenciado a un sistema de coordenadas relativo, es decir, todos los puntos de la nube quedarán registrados con una coordenada de un sistema propio (x_{ri}, y_{ri}, z_{ri}). Como en nuestro caso disponíamos de cinco sistemas referenciales, fue necesario que el escaneado tuviera referencias comunes para facilitar el encaje de las nubes de puntos y que toda la información quedase relacionada entre sí. Para ello, se dispuso de tres dianas posadas en las esquinas de los antepechos perimetrales para referenciar los diferentes escaneados: D1-SurEste, D2-SurOeste y D3-NorOeste.

8.3.3. El procesado de los escaneados

Se utilizó la aplicación Cyclone de Leica para el procesado de los cincos escaneados del láser escáner 3D, teniendo en cuenta que una georreferenciación depurada de las diferentes sesiones era fundamental para preparar el modelo final. De cada sesión obtuvimos un modelo tridimensional de puntos en el espacio, que la aplicación procesó para acoplarlos en base a los puntos coincidentes permitiendo la elaboración del modelo global del edificio.

Fig. 250. Escaneado visualizado desde la pantalla del equipo C10 de Leica

El software Cyclone efectúa la fase de georreferenciación para que la medición de cada punto esté reconocida ahora con sus valores de posición absoluta (x_a, y_a, z_a) y de intensidad del color(pantallas RGB), permitiéndonos la visualización tridimensional del objeto escaneado.

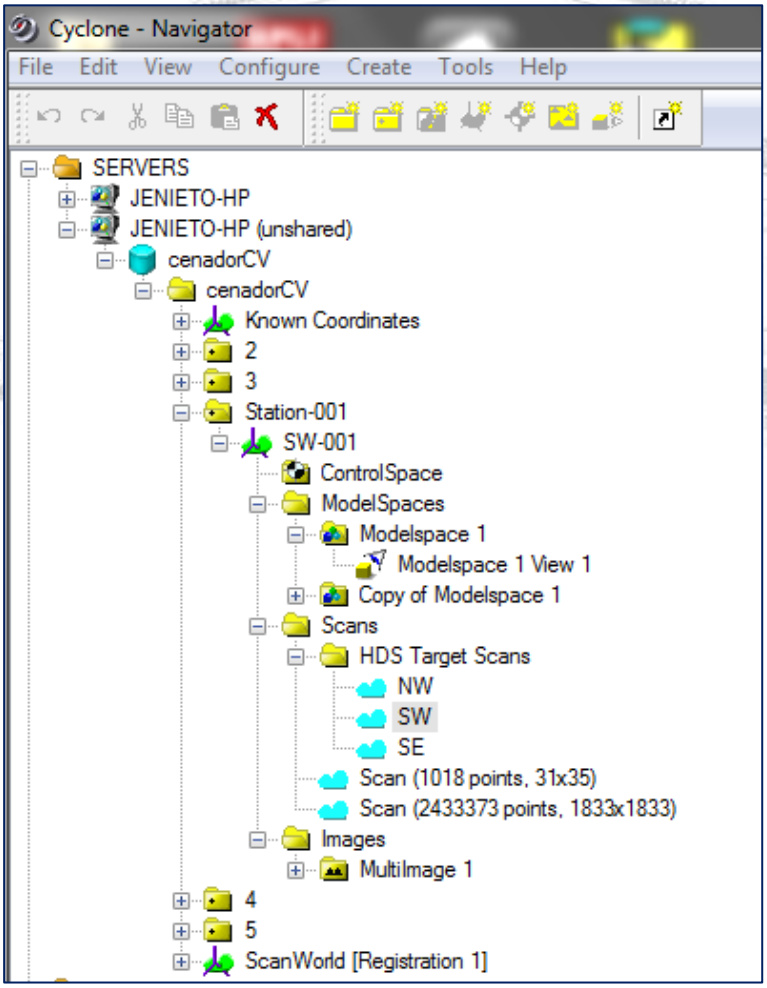


Fig. 251. Organización de la información tomada de los cinco escaneados del Cenador. Se aprecia la Estructuración de la Station-001. Software Cyclone de Leica, 2012.

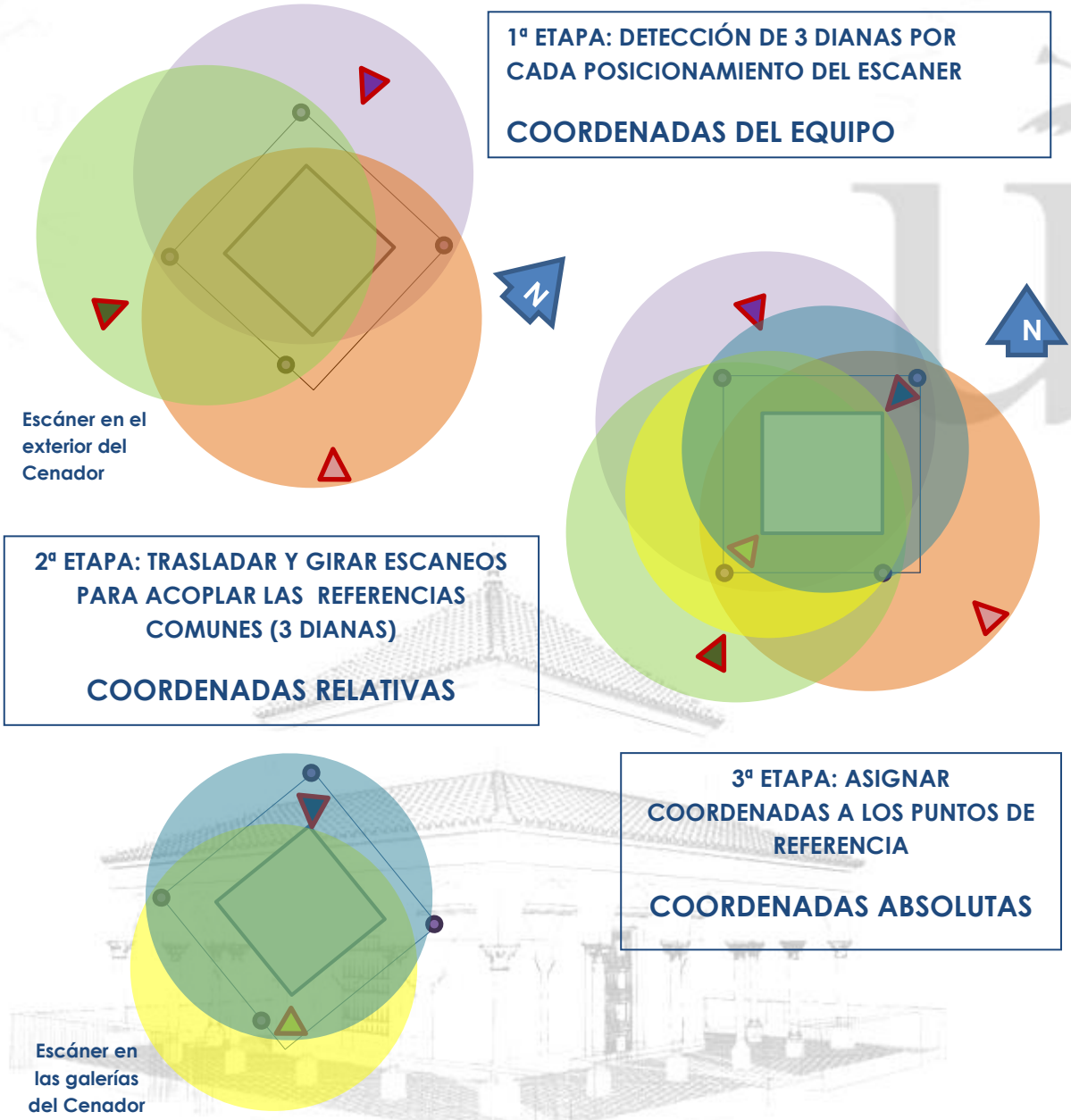


Fig. 252. Esquema simplificado de los pasos dados en el proceso de georreferenciación y unión de los cinco posicionamientos del escáner para el levantamiento del Cenador de Carlos V.

El siguiente paso era insertar la nube de puntos ensamblada en el software BIM para que nos sirva como referencia para la fase de modelado. Es en ese momento cuando el modelo se haga coincidir con el sistema de coordenadas de la base cartográfica para situarlo en su posición geográfica.

8.3.4. Gestión de la nube de puntos

Es habitual usar el software propio del escáner para las fases del procesado: inserción de la nube, filtrado de puntos y unión de escaneos, pues aunque existe la posibilidad de exportar la información para procesarla en aplicaciones externas (empleando los formatos de intercambio ASCII o binario), no suele ser recomendable pues tropezaríamos con restricciones que dificultarán bastante el trabajo.

En cambio, para la gestión de la información procesada si es más conveniente el empleo de aplicaciones específicas por la elevada eficacia. En el mercado comercial podemos encontrar los potentes PolyWorks y Rapidform, aunque también está muy difundido MeshLap como un software libre con una efectividad bastante aceptable.

➢ Limpieza de la nube de puntos

Para una primera fase de limpieza de la nube de puntos, después de ser procesada en la aplicación de Leica Cyclone, utilizamos el software Rapidform por disponer de licencia para su uso. El procedimiento llevado ha sido la eliminación de todos los elementos que iban a entorpecer una lectura precisa de la geometría de las piezas arquitectónicas del Cenador y que han sido detectados por el escáner, entre los que se encontraban naranjos y arbustos contiguos de los laterales norte y este, y demás vegetación circundante de los jardines del Alcázar.

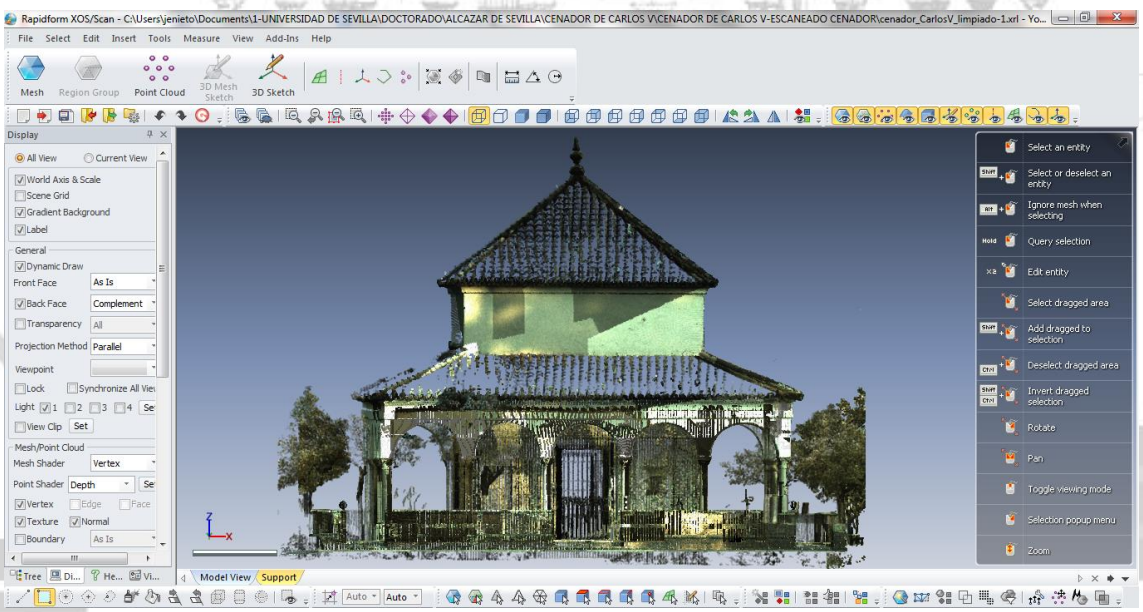


Fig. 253. Escaneado importado al software Rapidform antes de la limpieza de la vegetación circundante.

Habría que puntualizar que principalmente nuestro trabajo ha estado enfocado a gestionar la información suministrada por los equipos de medición de una manera precisa y fluida para que se implemente de forma eficaz en los modeos de información, disponiendo así de toda la geometría real del edificio histórico que será intervenido. La aplicación de esta metodología en un modelo concreto

se concibe como un ensayo que nos conducirá finalmente a certificar o no nuestras hipótesis de partida. Es por lo que no nos propusimos como meta el mallado completo de la nube de puntos, un trabajo laborioso que no nos reportaría mayor efectividad que si empleáramos las herramientas de diseño paramétrico para el modelado de elementos constructivos carentes de deformaciones. Además, aquel procedimiento se utiliza en aquellos casos que se quiere obtener modelos tridimensionales basados únicamente en la información espacial del escáner sin apoyarse en otras técnicas de modelado más específicas.

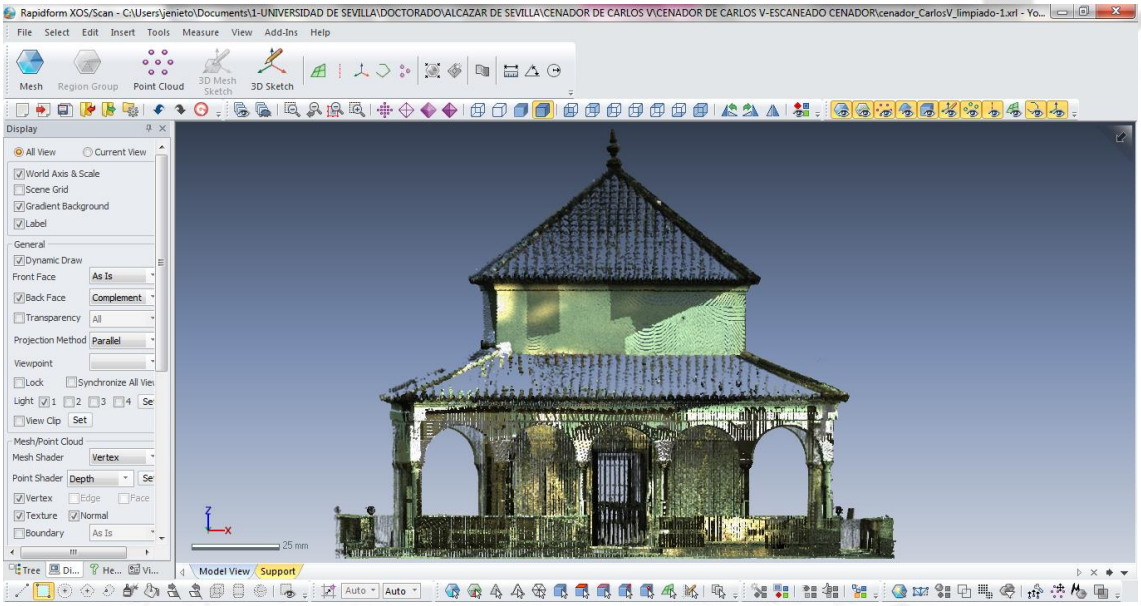


Fig. 254. Alzado de la nube de puntos desde el software Rapidform después de la limpieza.

Pensamos que la conversión de la información de los puntos espaciales en una malla contínua constituida por pequeñas superficie poligonales se debe de aplicar sólo en las zonas que presenta irregularidades muy patentes y que si merecen un levantamiento preciso de su geometría real: un descuadre en el repanteo de los muros de una estancia o un desplome considerable de los paramentos. Pero en el caso de buscar una representación de pequeñas piezas de alto valor arquitectónico, donde deben perdurar sus geometrías originales para ser testigo fiel de la historia, es decir, verdaderos vestigios patrimoniales, si nos sería de gran utilidad la conversión de los puntos espaciales en mallas poligonales para objeter un volumen que sea a la vez representativo y manipulable.

En un apartado posterior explicaremos el procedimiento seguido para el modelado de algunas piezas arquitectónicas del Cenador de Carlos V, como han sido los dieciséis capiteles de las columnas y las tallas de las carpinterías, buscando una reproducción análoga a su forma real antes de ser incorporados en el modelo de información patrimonial. Esta etapa de modelado depurado enfocada a la representación de detalles se debe desvincular de la fase de levantamiento del edificio, pues inicialmente son insignificantes a la hora de marcar las pautas para un buen replanteo previo al modelado de sistemas constructivos completos. Si ponemos como ejemplo nuestro modelo, una vez

analizada la tipología arquitectónica del Cenador diremos que al inicio de los trabajos nos interesa antes marcar el eje de la logia (que contiene los cinco arcos de medio punto sustentados por las seis columnas) que los propios detalles de los motivos alojados en cada capitel corintio.

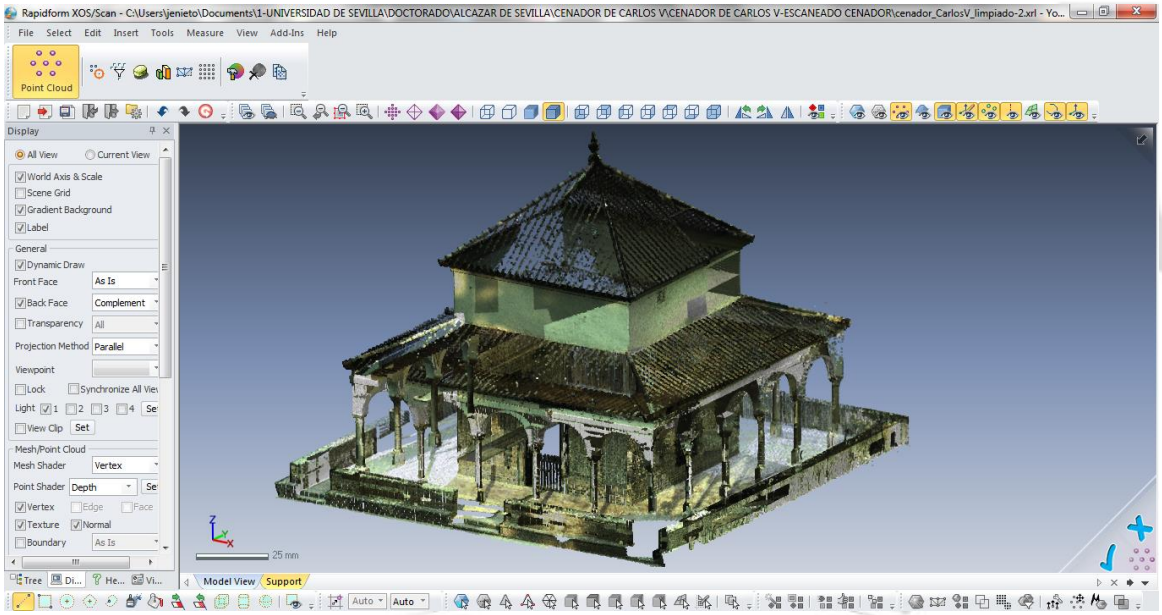


Fig. 255. Vista desde el software Rapidform del modelo completo libre de vegetaciones y ruido aéreo.

8.3.5. Localización de deformaciones en los muros

Es fundamental sectorizar la nube de puntos a la hora de analizar las zonas críticas donde se encuentran un mayor número de deformaciones en paramentos y techos, más cuando la información completa suministrada por el escáner es muy elevada. De la auscultación del Cenador pudimos constatar que el paramento de la sala central con orientación sur estaba muy deteriorado, con muestras de abombamientos y desplomes elevados en varias zonas de azulejerías y yeserías. Procedimos, por tanto, en el software Rapidform a discriminar del global de puntos el frente sur, trabajado así en un archivo mucho más reducido y con una mejor visualización de los elementos del paño seleccionado al eliminar la galería completa que lo cubría.

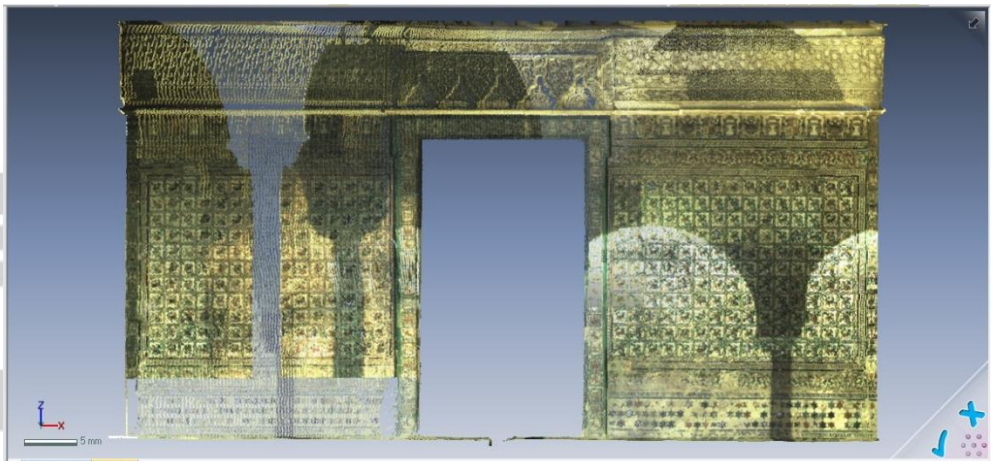


Fig. 256. Vista frontal del Muro Sur seccionado de la nube global del Cenador. Software Rapidform XOS.

El siguiente paso era convertir los puntos en mallas trianguladas para poder manipular la información geométrica del muro. En este proceso se originaron agujeros propios de zonas que no habían sido bien barridas por el escáner láser, ocasionados principalmente por los relieves y profundidades en los paramentos. Fue el caso de algunos detalles en las complejas geometrías de las yeserías y los resaltes de impostas y cañas en los paños de azulejos. Pero el escaneado del edificio se programó para capturar las geometrías actuales de los muros, columnas, forjados y cubiertas como elementos principales del edificio, dejando los detalles de yeserías, remates y elementos decorativos para otra etapa.

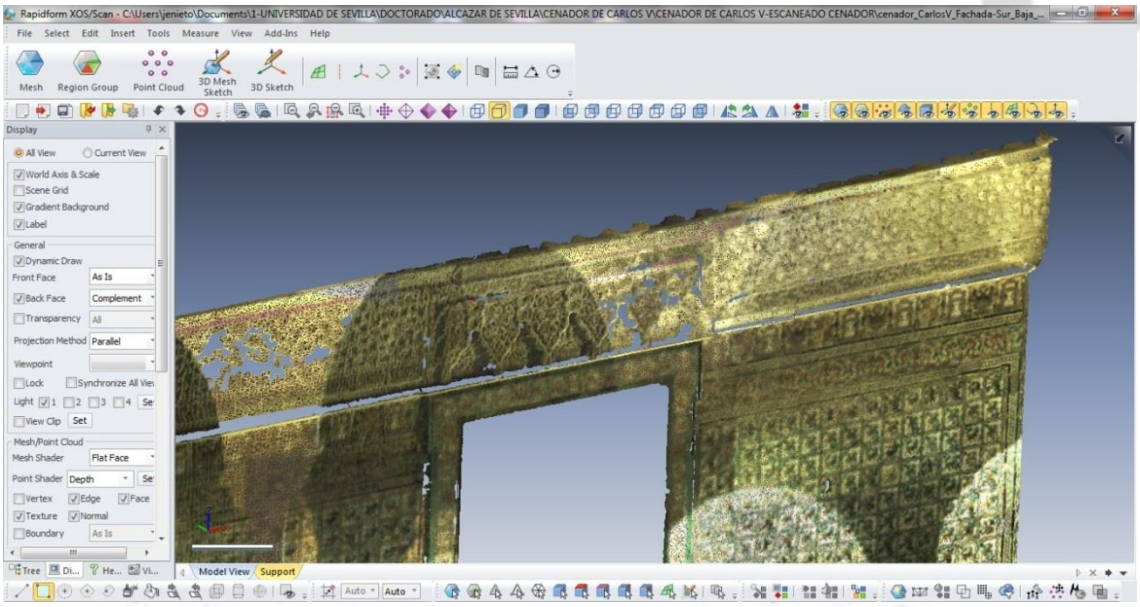


Fig. 257. Vista del Muro Sur mallado y con la imagen mapeada de los azulejos, apreciándose agujeros en yeserías y resaltes de la imposta de la puerta de acceso al Cenador de Carlos V. Software Rapidform XOS.

Lo que nos preocupaba inicialmente era localizar deformaciones en los paramentos, las cuales habrían que ser bien medidas para una posterior y eficaz labor de analisis patológico. Por tanto, la conversión de los puntos en una superficie manipulable nos ayudaría a delimitar y manipular desplomes y abombamientos manifestados en el muro sur.

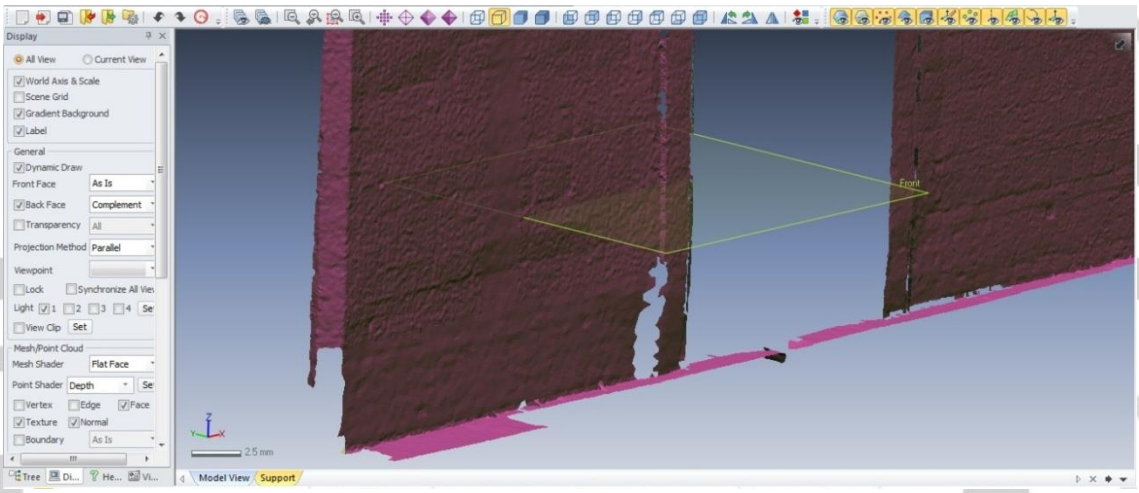


Fig. 258. Vista sureste del Muro PB-Sur mallado previo al cierre de agujeros. La perforación del lateral izquierdo de la puerta coincide con el abombamiento de la mocheta. Visualizado con el software Rapidform XOS.

Hay que evitar en lo posible que se produzcan grandes aberturas cuando la distancia entre los puntos del escaneado es elevada, que para el caso de un abombamiento o hundimiento pronunciado puede derivar en un mallado erróneo muy distante de la realidad. Por ello, es importante en estos casos realizar un segundo escaneo a más resolución en la zona deforme o con irregularidades importantes[166]. En nuestro caso, ya que no hubo posibilidad de disponer del equipo escáner laser en una sesión posterior, se procedió a cerrar las aberturas importantes, para conformar la malla completa de la fachada Sur, por una interpolación de puntos extremos y el auxilio de la sección transversal dada a la nube (perpendicular al paño) que pasara por el sector deforme para capturar la curva del abombamiento.

Tambien desde el sofware Rapidform pudimos observar las diferentes regiones detectadas en la malla en función de las propiedades espaciales de los puntos contenidos en cada una de ellas. Esta funcionalidad suele ser muy ventajosa en la fase de análisis patológico del muro.

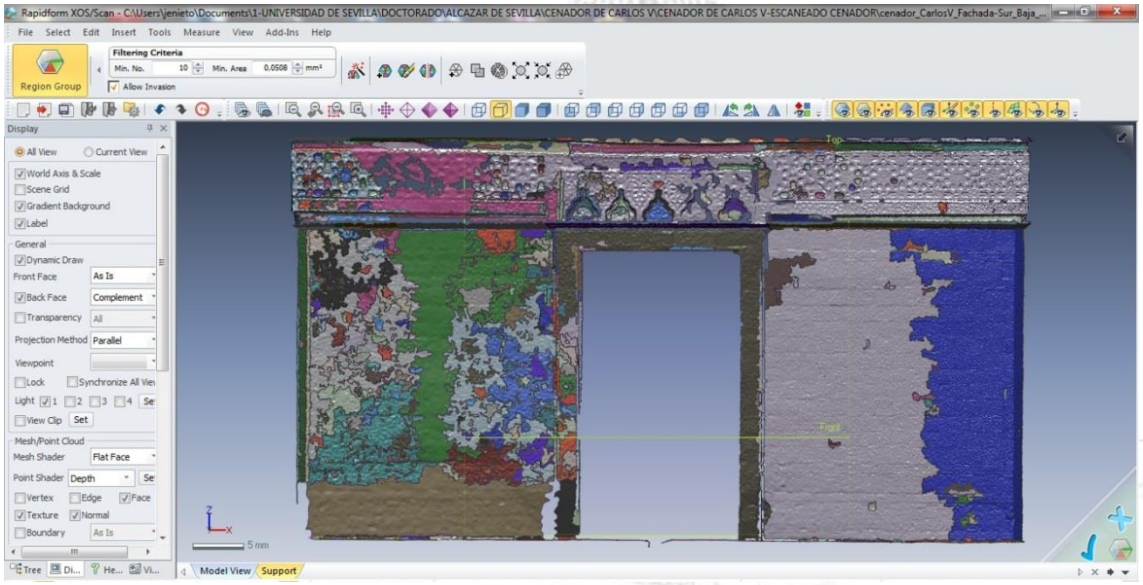


Fig. 259. Vista Muro PB-Sur con el grupo de regiones de la malla , aplicando una sensibilidad de 65. Software Rapidform XOS.

[166] Los equipos manuales para el escaneado de objetos cercanos pueden ser muy útiles en caso que las deformaciones sean poco extensas. Véase el apartado 8.5. El modelado de pequeñas piezas arquitectónicas.

8.3.6. Inserción de mallas poligonales como objetos en ArchiCAD

Hasta este momento disponíamos de un modelo BIM básico basado en la información suministrada por los equipos de medición por escaneado láser, que buscaba conformar los espacios fundamentales del edificio: definir las dimensiones de cada estancia, alturas de los techos y pendientes de los faldones de cubiertas.

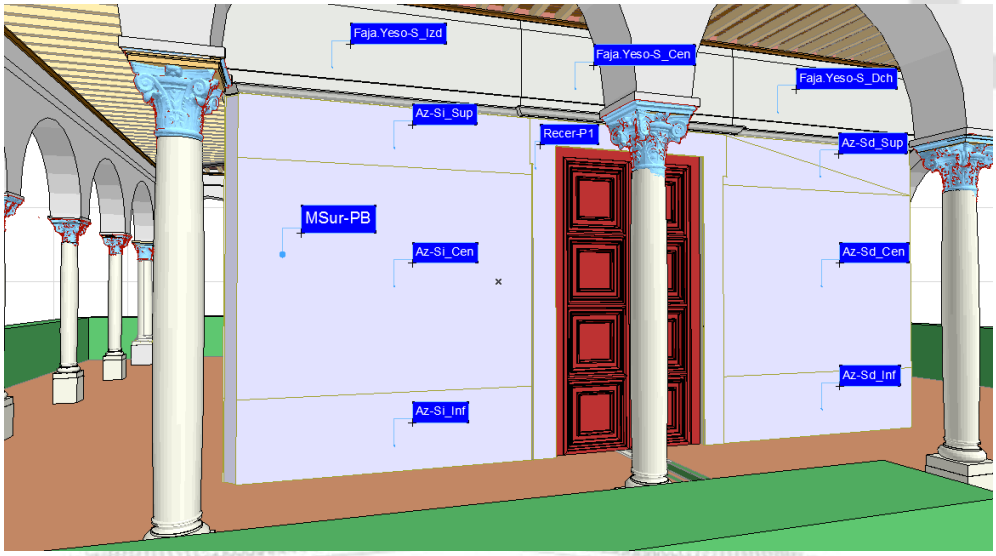


Fig. 260. Documento 3D de ArchiCAD con etiquetas en los paños de azulejos de la fachada Sur del Cenador.

Ahora queríamos experimentar con las mallas procesadas en otros softwares específicos, para el acople en el mismo modelo BIM de la envolvente real del edificio. El ensayo se centró en el muro del Cenador con orientación sur por sus evidencias patológicas.

Antes de su inserción en el proyecto HBIM procedimos al cierre de los agujeros de la malla[167]. Posteriormente, ArchiCAD realizó la incorporación de la misma como archivo especial tipo *.3ds* para convertirlo en un objeto paramétrico GDL[168] (al que denominamos *CCV_Fachada-Sur_Baja_Mallada.gsm*).

En las siguientes vistas queda patente las deformaciones en el paramento de la fachada Sur, que no fueron tenidas en cuenta en el primer modelo. El modo de visualización alámbrico (Fig. 259) muestra la densidad de triangulaciones que conforman la malla, siendo excesivo en el sector que ocupa la yesería superior. Esta circunstancia hace que el objeto tenga un volumen excesivo (> 9MB), y en cierto modo innecesario, pues realmente sólo lo necesitábamos para capturar el abombamiento puntual.

[167] La manipulación de la malla para el cierre de huecos se realizó en un principio en la aplicación Polyworks.
[168] ArchiCAD sólo admite la inserción de objetos en formato *3ds* para su conversión en objetos GDL.

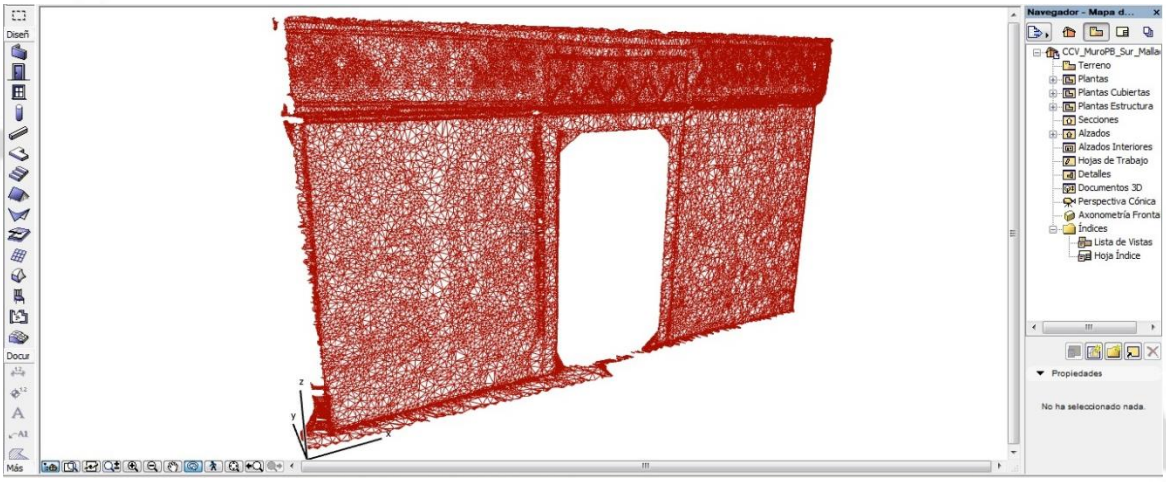


Fig. 261. Vista del Muro PB-Sur Mallado en modo Alámbrico de ArchiCAD (objeto paramétrico GDL denominado como *CCV_Fachada-Sur_Baja_Mallada.gsm*).

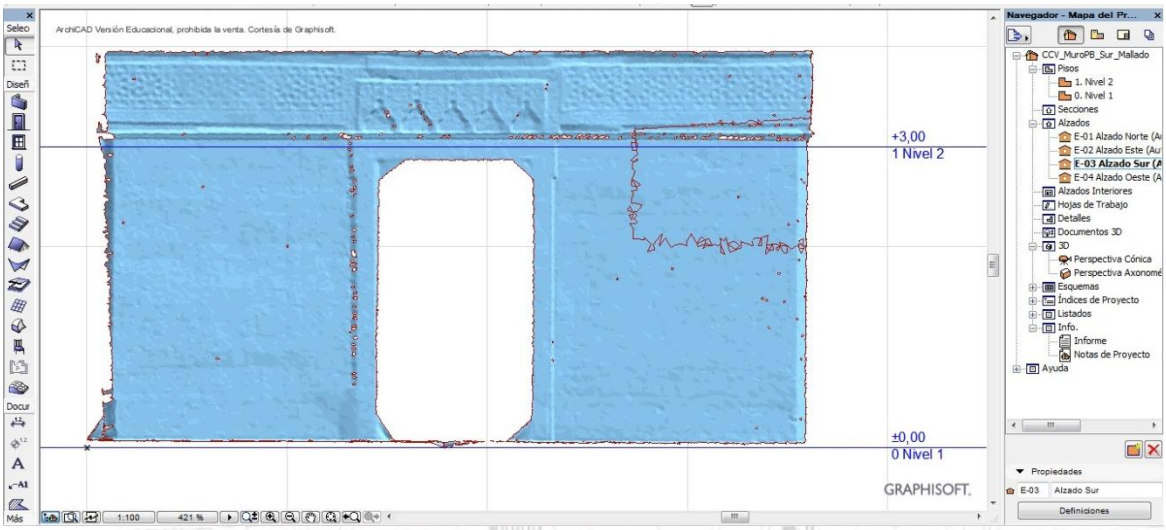


Fig. 262. Alzado Muro PB-Sur Mallado con la superficie en Colores Propios de ArchiCAD (gsm).

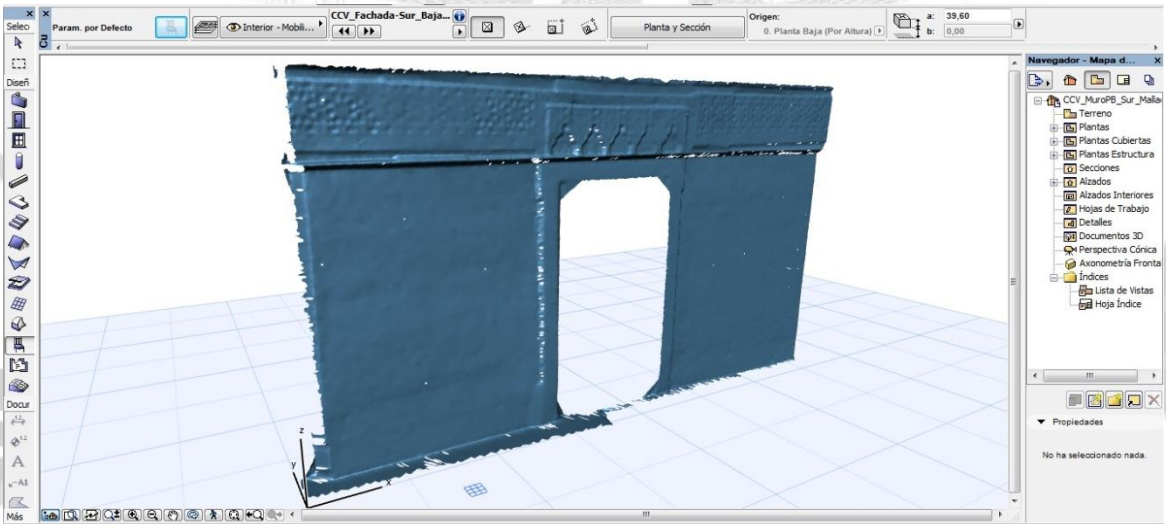


Fig. 263. Vista 3D del objeto paramétrico de ArchiCAD *CCV_Fachada-Sur_Baja_Mallada.gsm*.

La sistemática empleada puede quedar resumida en las figuras siguientes al aplicar el gestor de capas y el asistente de visualización parcial de la estructura de muros del software ArchiCAD.

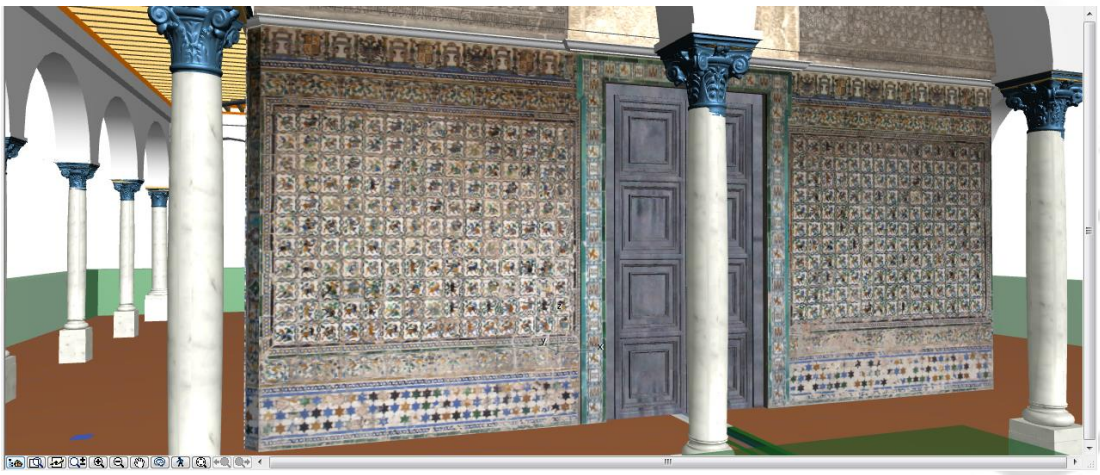


Fig. 264. Vista del Muro Sur con los paños de azulejos texturizados. Modo Open GL de ArchiCAD.

Fig. 265. Vista del Muro Sur con la intercalación de la malla con los paños de azulejos texturizados.

Fig. 266. Vista del Muro Sur con la malla incrustada sin los paños de azulejos texturizados al ocultarse la capa que los contiene (*Acabado –Muros*) y aplicar el asistente Visualización Parcial de Estructura *Sin Acabados*.

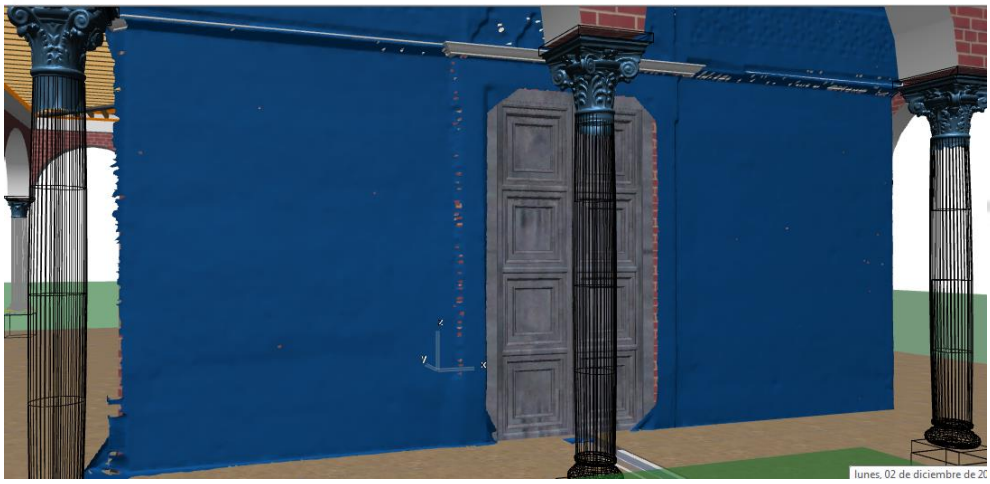


Fig. 267. Vista del Muro Sur con la malla totalmente acoplada al aplicarse el asistente Visualización Parcial de Estructura *Núcleo Solamente*.

Pero si observamos las imágenes anteriores, el nuevo objeto paramétrico surgido de la malla presentaba algunas perforaciones (que presentaba la malla antes de su conversión en objeto GDL). Esto no nos inquietaba al principio ya que sus tamaños eran intrascendentes, y la malla seguía siendo válida como referencia a las principales irregularidades. Siempre existía la posibilidad dentro del proyecto BIM de editar el objeto para cerrar los huecos.

Para el supuesto de utilizarla como una piel envolvente del edificio si sería necesaria su consolidación. La opción derivó en una conversión del objeto a un nuevo elemento *Forma*. La paleta de edición nos permitió seleccionar puntos extremos para desplazarlos y conseguir el cierre de los polígonos abiertos.

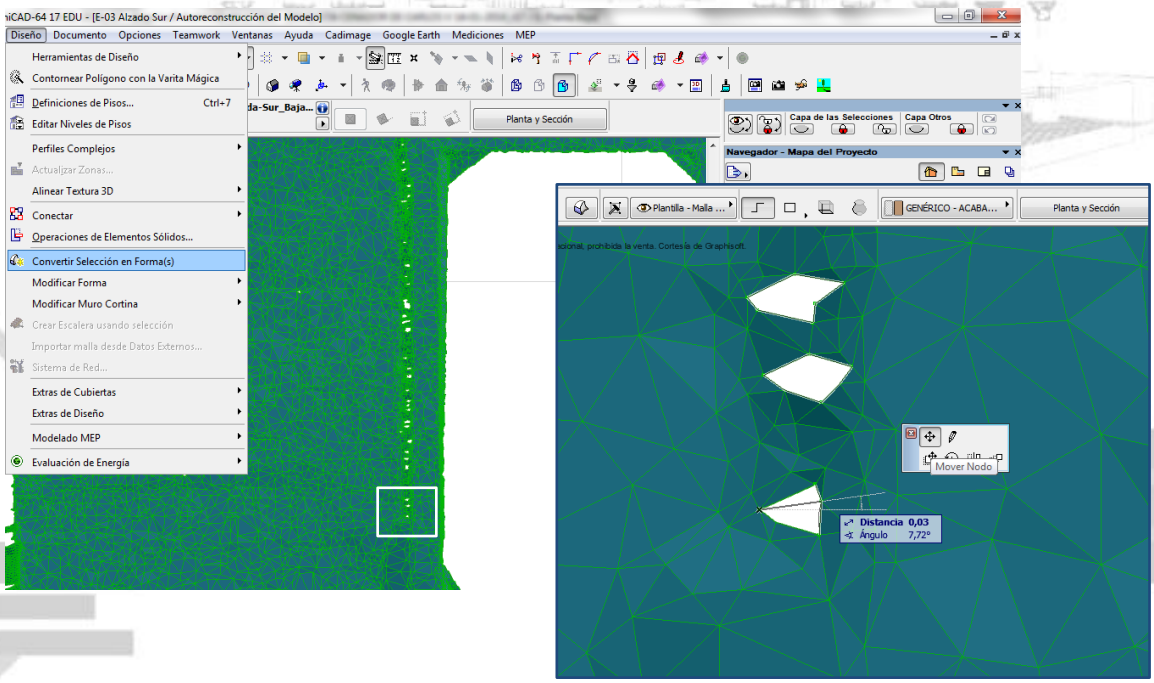


Fig. 268. a) Conversión en ArchiCAD del objeto GDL en elemento Forma; b) Operación de cierre de los polígonos abiertos usando la opción de mover nodos de la paleta de edición.

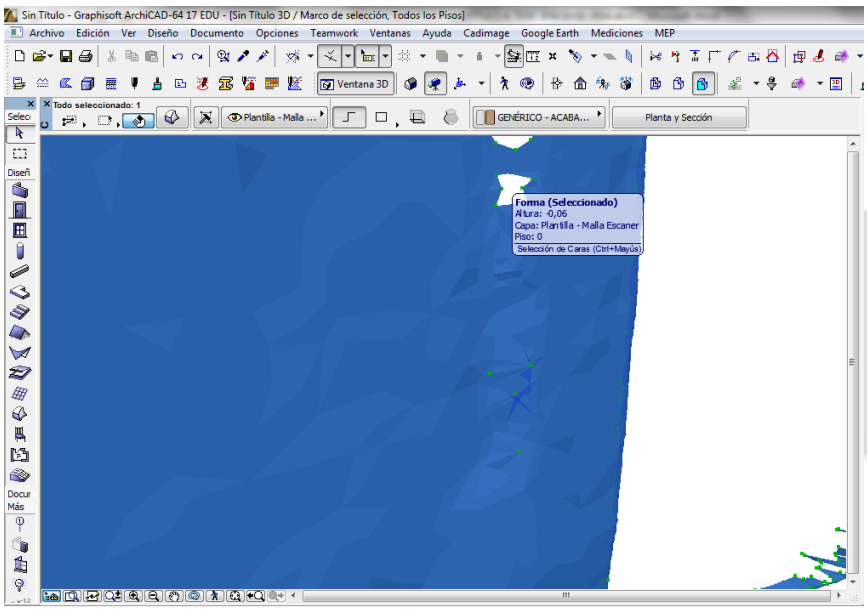


Fig. 269. Resultado de la malla manipulada del Muro Sur una vez cerrados los huecos en el software ArchiCAD.

8.3.7. Vectorizado de la nube de puntos

Cuando se realizó el levantamiento del Cenador tuvimos presente que la resolución elegida en la toma de datos debía proporcionarnos un modelo con alta precisión para que no se perdiesen detalles importantes de su arquitectura. De esta forma, una vez finalizada las tareas de limpieza de la nube de puntos ensamblada no fue preciso los trabajos de vectorización de aristas para definir las caras de los elementos, más cuando la obtención de una planimetría 2D no tenía ningún sentido con el empleado de la nueva metodología.

Como la densidad de puntos ha sido suficiente para determinar contornos de columnas, muros, forjados, cubiertas, e incluso de elementos decorativos, hemos tomado como referencia directamente el modelo tridimensional de nube de puntos para realizar las secciones pertinentes del edificio sin necesidad de delinear entre puntos (ahora nos preguntaríamos ¿y qué puntos?). La delineación es una tarea engorrosa y, en cierto modo, un procedimiento intrínseco a la persona que lo realiza: una aleatoriedad que solo nos añadiría más imprecisiones a la documentación geométrica del patrimonio.

8.3.8. Incorporación de nube de puntos en el proyecto HBIM

A quedado asentado en los capítulos anteriores la necesidad de capturar la condición existente de un edificio histórico, más cuando incorpora deformaciones motivadas por las técnicas constructivas empleadas, que no han soportado el recorrido en un largo periodo, o por problemas patológicos derivadas de deterioros en la edificación. Con el uso de las nuevas tecnologías de levantamiento con escáner láser podremos identificar puntos de muestreo de la superficie de un objeto físico existente y almacenar esta información como una imagen de pixeles en el espacio tridimensional, conocida asiduamente como *nube de puntos*. Pero la cantidad de datos generados por la tecnología láser suele ser muy elevada (de cientos de millones a miles de millones de puntos)[169].

Este puede ser uno de los motivos principales por el que las aplicaciones BIM no tienen bien implementada la inserción de nubes de puntos en los modelos de información. Aunque existe otra limitación fundamental, y es que los elementos constructivos gestionados por el sistema BIM deben tener una entidad física representada en un modelo tridimensional, cuando los puntos y las líneas son simples elementos vectoriales.

8.3.8.1. Inserción del archivo de nube de puntos en Revit

El procedimiento elegido para gestionar la información del escaneo del Cenador de Carlos V ha consistido en insertar el archivo de nube de puntos sin mallar en

[169] En el levantamiento por escaneado del Cenador de Carlos V, con una planta aproximada de 15 x15 metros, el escáner C10 de Leica generó una información procesada de 4.606.6020 KB (4,6 GB).

Revit[170]. Leica dispone del software CloudWorx para instalarse en Revit como plug-in y que nos permitirá la manipulación de la nube de puntos capturada por el escáner láser. Esta aplicación permite que podamos explorar virtualmente el edificio trabajando en el interfaz de Revit. Aunque finalmente nos decantamos por usar el asistente Pointcloud que el fabricante Autodesk incorpora en cualquier versión de Revit.

Los datos suministrados por el escáner 3D, después de ser procesados por el software del equipo, fueron insertados en formato *.pts* por el asistente de *Nube de Puntos* de Autodesk Revit 2012 para proceder a su transformación en formato *.pcg* indexado[171]. Con la vinculación directa de la nube de puntos al proyecto BIM dispondremos de referencias directas para las tareas de modelado.

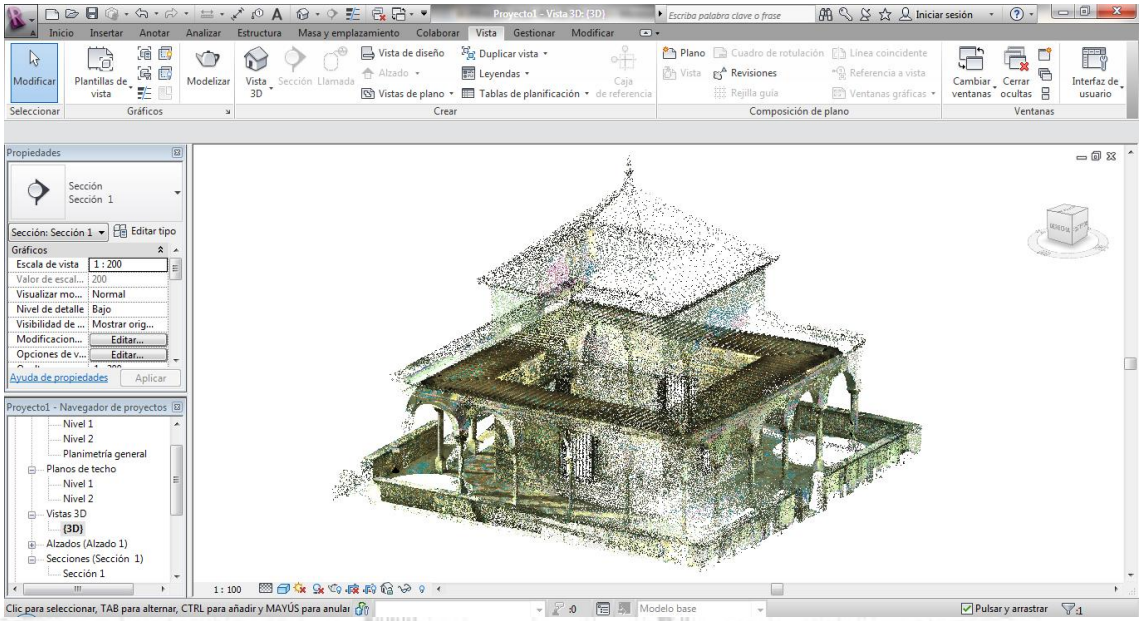


Fig. 270. Nube de puntos tridimensional del Cenador de Carlos V. Archivo indexado.

Son enormes las ventajas al trabajar directamente sobre la información capturada por el escáner en el espacio 3D en comparación con la inserción de archivos de puntos en proyecciones 2D, metodología que ha prevalecido hasta hoy cuando se emplean los tradicionales programas de CAD. De la experiencia adquirida y por los resultados satisfactorios obtenidos podríamos destacar las principales preeminencias:

- La nube de puntos se ha comportado como un objeto de modelo 3D completo que hemos movido fácilmente en el interfaz de Revit.

- Aunque al actuar como un archivo de referencia no es posible modificar valores de configuración de los gráficos: líneas, tramas o plantillas, sí se puede controlar su visibilidad con tan solo activar o desactivar la nube de puntos. La

[170] Formatos de archivo tipo: .fls, .fws, .las, .ptg, .pts, .ptx, .xyb, o .xyz.
[171] La versión 2014 de Autodesk Revit utiliza un nuevo motor de nubes de puntos que requiere archivos indexados con el formato .rcp o .rcs. Para los modelos que incluyan archivos vinculados de nubes de puntos con formato .pcg, hay que seguir un procedimiento de actualización para indexar los archivos anteriores al nuevo formato, recomendando no modificar el origen y la orientación original del archivo. Se asegura así que los nuevos archivos de nube de puntos indexados estén en la misma ubicación relativa que los archivos .pcg.

información de la nube de puntos se ha manipulado para mostrarse en las diversas vistas de modelado: plantas, alzados, secciones y en modo 3D.

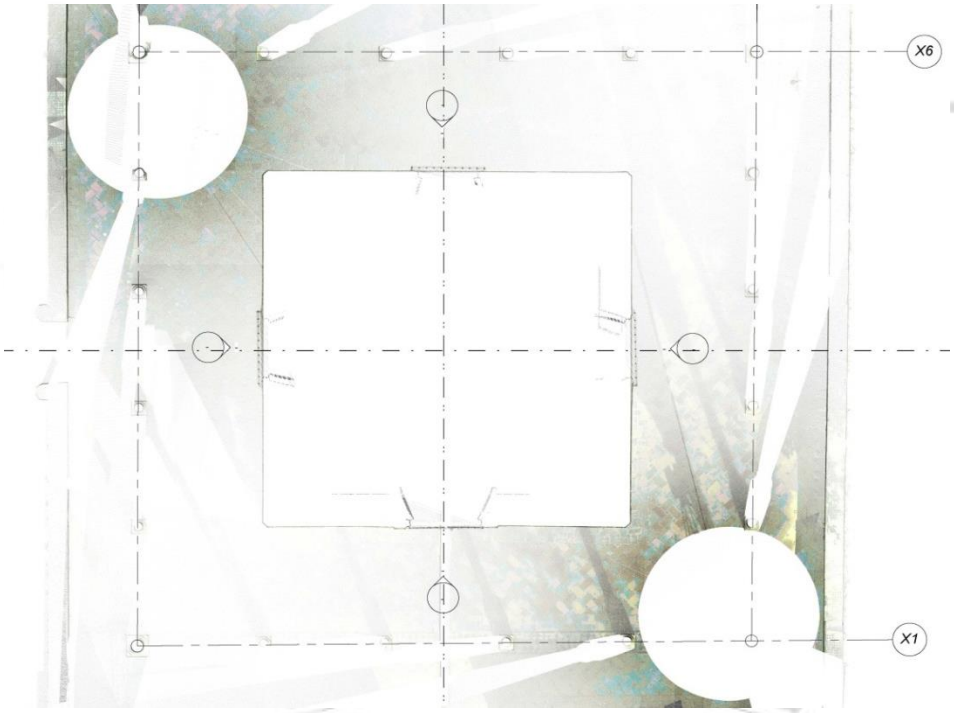


Fig. 271. Sección horizontal a 1,50 m sobre el Nivel 1, realizada a la envolvente de puntos en el espacio (nube de puntos). Se aprecian los dos estacionamientos del Escáner 3D.Información suministrada por el software Revit.

- La nube de puntos se ha sectorizado por planos de corte al utilizar la función de *Caja de Sección*, lo que ha facilitado el aislamiento de las zonas donde se localizaban desplomes en muros y abombamientos de los paños de azulejos. Las zonas delimitadas han sido guardadas como vistas establecidas para una lectura fácil de los datos y un correcto análisis, y optar por una posterior exportación de la información para mostrarla en otras aplicaciones[172].

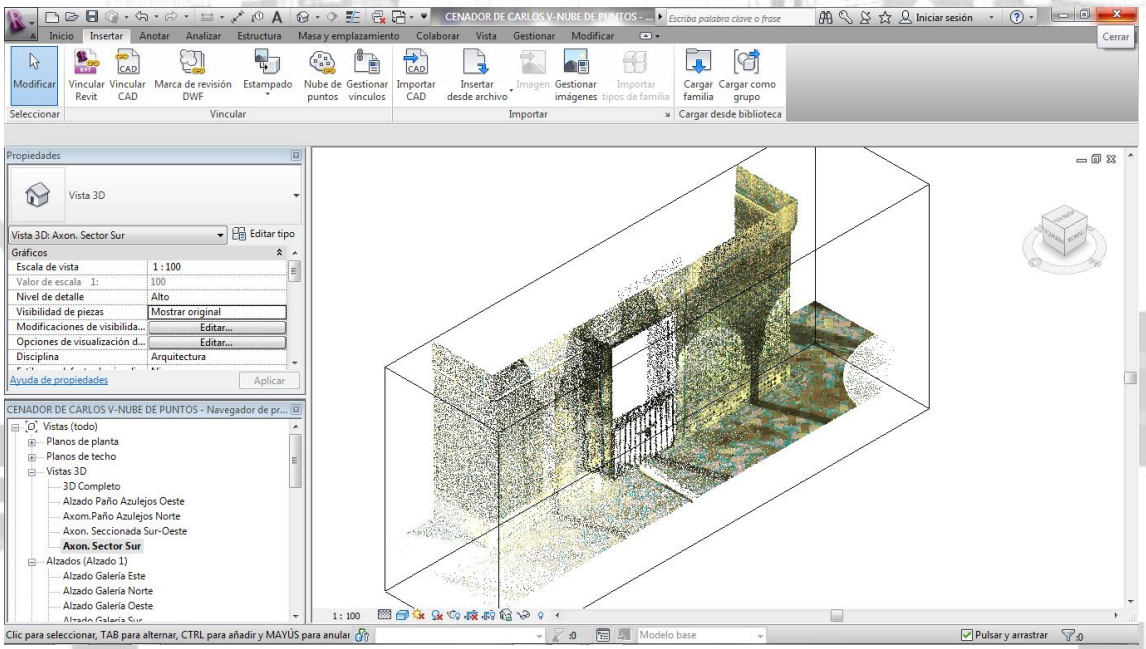


Fig. 272. Vista del sector de la fachada sur delimitado por la Caja de Sección de Revit.

[172] Las vistas de la nueve de puntos, al no disponer de vectores, se deberán exportar en un formato de imagen para permitir una visualización: jpg, pdf.

8.3.8.2. Creación de la geometría del modelo HBIM

Para facilitar la creación del modelo basado en la información de los puntos del escáner, se activa un forzado de cursor. Las herramientas de creación o modificación de geometría de Revit (muro, línea, rejilla, girar, etc.) nos permitirán realizar forzados de cursor en superficies planas implícitas que se detectan dinámicamente en la nube de puntos. Aunque existe el inconveniente de que Revit solo detectará planos que son perpendiculares al plano de trabajo actual (vistas de planta, sección o 3D) y que se encuentren muy cerca del cursor. Pero una vez detectado el plano de trabajo, se utilizará como referencia global para la incorporación de los elementos.

En nuestro caso, hemos querido trabajar en el mismo modelo levantado inicialmente con el software ArchiCAD y seguir con la introducción de los datos del nuevo levantamiento por escaneado 3D. Esta metodología nos permitirá contrastar la nueva información suministrada por el escáner con la documentación que nos proporcionó la EEA-CSIC derivada de sistemas fotogramétricos.

La sistemática seguida para la creación de la geometría del modelo en base a los datos del escáner 3D queda resumida en los siguientes puntos:

1. Gestión de la nube de puntos en el software Autodesk Revit, que nos ha permito obtener unas proyecciones básicas. Estas nos han servido de plantilla para luego contrastarla con el modelo BIM levantado en ArchiCAD.

   Para facilitar la movilidad dentro del modelo de puntos espaciales, hemos conformado unas vistas basadas en los mismos planos de cortes de la fase anterior de modelado. Los nuevos alzados, secciones y plantas coinciden con los marcados en el proyecto HBIM.

   - Generamos en Revit vistas con las plantas seccionadas por niveles de la nube de puntos para utilizarlas después como referencias en ArchiCAD y facilitar las labores del modelado: Plantas Nivel 1 (pavimento), Nivel 2 (1ª Cornisa), Nivel 3 (2ª Cornisa), Nivel 4 (Cumbrera). Finalmente nos han permitido posicionar correctamente los elementos en el modelo, y siempre trabajando en base a la estructura de pisos.

     Las vistas generadas son imágenes de mapa de bits, por lo que antes de su exportación insertamos unos ejes de coordenadas como referencia del posicionamiento de puntos singulares (centro de las columnas y contornos de las basas[173]. Además, añadimos el marcado de algunos planos fundamentales empleando líneas, utilizado para definir las caras de los muros de la sala central. Referencias que luego hemos exportado como entidades vectoriales (en formato dwg/dxf), y que han supuesto un recurso

[173] Los gráficos vectoriales se distinguen de los gráficos en mapa de bits en que representan una imagen usando objetos geométricos como curvas de Bézier y formas poligonales, no del simple almacenamiento del color de cada punto en la matriz.

muy válido por ser manipulables como cualquier otro elemento, de 2D o paramétrico, dentro del software de modelado BIM (en ArchiCAD obtendremos atracciones sobre puntos y líneas que nos permitirá una captura precisa).

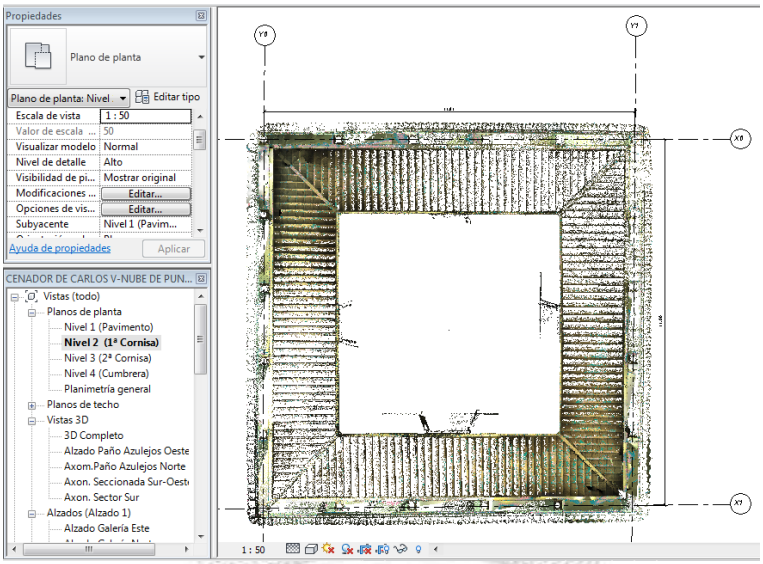


Fig. 273. Vista de la Planta de la nube de puntos en Revit, seccionada a +1,20 del piso Nivel 2 (1ª Cornisa).

2. Introducción de las vistas como plantillas en el proyecto de ArchiCAD, al igual que hicimos con los planos de la Planimetría del Alcázar. El método empleado ha sido fundamental para localizar las coordenadas exactas de las basas y fustes de cada columna, las cuales no se encontraban alineadas respecto al eje de cada logia, motivado probablemente por los continuos movimientos de la edificación.

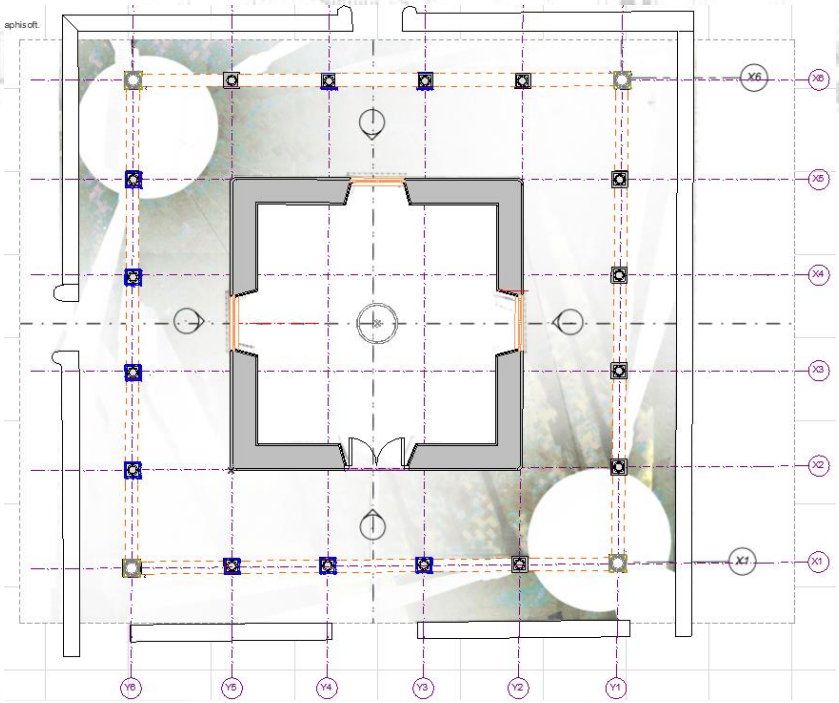


Fig. 274. Inserción de la Planta a +1,50 m de la nube de puntos en ArchiCAD. La red de ejes se ha posicionado en base a la plantilla para la colocación de basas y columnas en el modelo BIM.

Para reproducir todas las geometrías de muros y huecos nos hemos basado también en secciones específicas, pues eran evidentes las deviaciones en los planos verticales. Del modelo tridimensional de puntos se han obtenido las secciones siguientes:

- Secciones hacia el Norte, Sur, Este y Oeste
- Alzados seccionados de columnas de la logia Norte, Sur, Este y Oeste.

En la primera etapa del levantamiento del modelo sólo disponíamos del alzado Sur de la planimetría fotogramétrica del EEA-CSIC para capturar las geometrías de los elementos arquitectónicos del Cenador. Basándonos en éste único alzado, junto a una sección y la planta del nivel 1 procedimos al modelado del Cenador. Pero de la auscultación del edificio pudimos observar que existían algunas discrepancias dimensionales entre la planimetría suministrada y la arquitectura existente, y que merecían tener una consideración expresa.

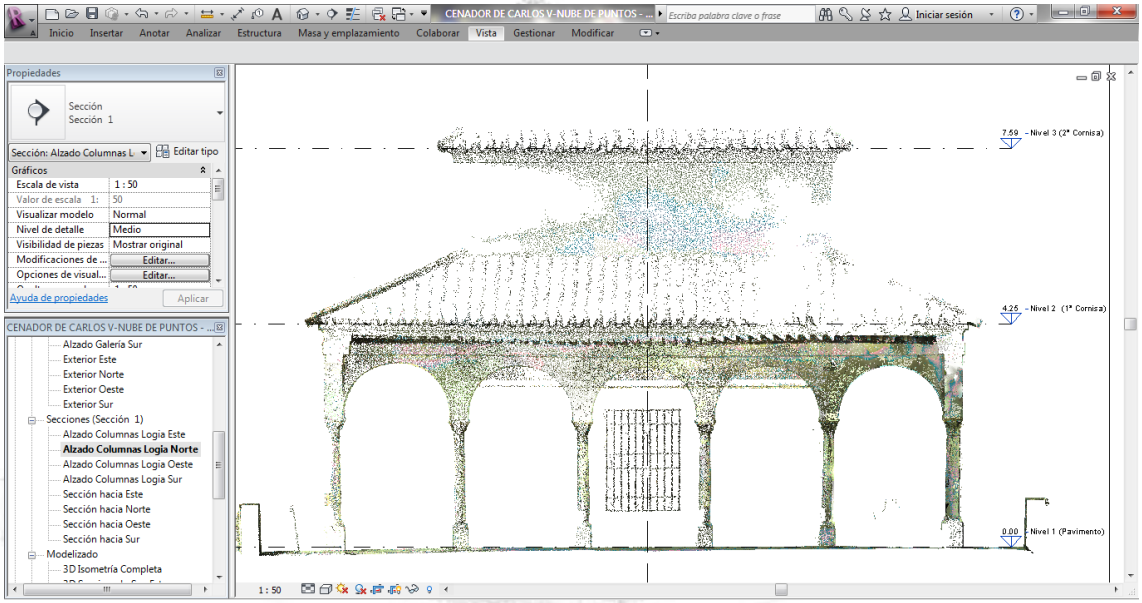


Fig. 275. Sección parcial en la Logia Norte para obtener el Alzado de las columnas y la formación de los cinco arcos de medio punto. Autodesk Revit.

3. Esta circunstancia nos ha llevado en una etapa siguiente a realizar una revisión del modelo, en la que hemos empleado las plantillas (sacadas de la nube de puntos en formato *.pdf*) como referencias en el ajuste de los elementos paramétricos a los contornos reales.

   Así hemos procedido en el caso del trazado de los arcos de medio punto que cerraban las cuatro galerías y que no seguían un orden inmutable. El trabajo de ajuste se ha realizado directamente en el alzado frontal teniendo de fondo la imagen de la nube de puntos (Fig. 186).

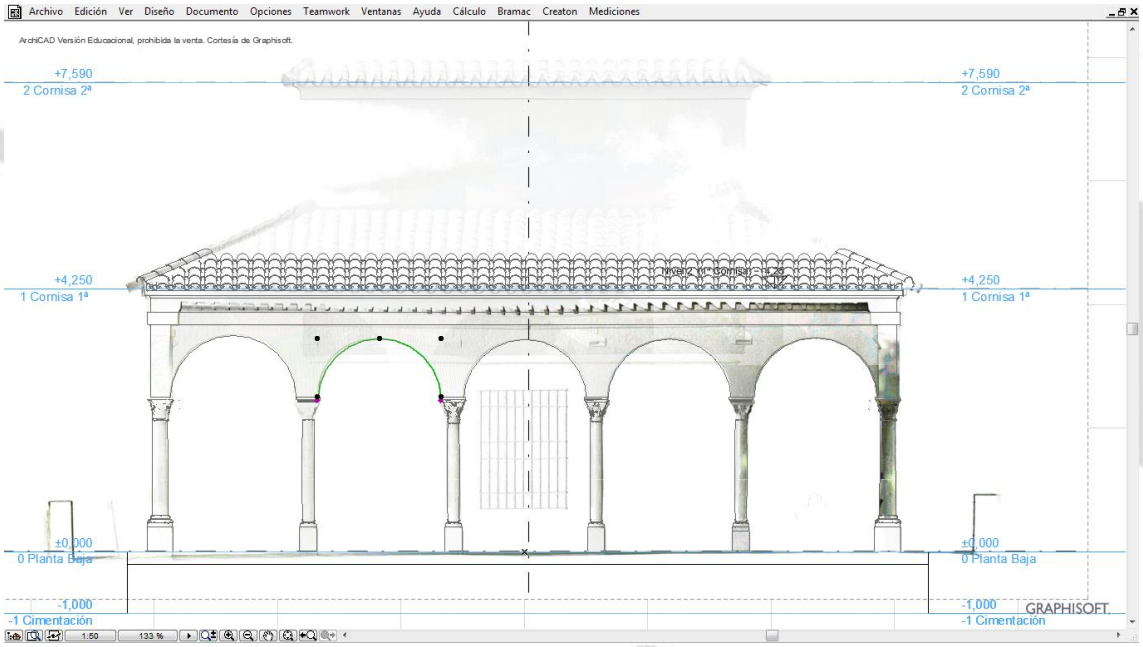


Fig. 276. Ajuste de los arcos de medio punto, realizado en el software ArchiCAD usando como referencia el archivo importado *Alzado Columnas Logia Norte. Pdf.*

Para ajustarnos a las irregularidades en los paramentos y, sobre todo, a los desplomes en muros, contrastamos después los elementos insertados en los pisos del proyecto HBIM con los contornos reales de la nube de puntos obtenidos del escaneado láser. Inicialmente los muros seguían la plantilla de la planta con un único nivel, aceptando una geometría totalmente vertical y un espesor constante.

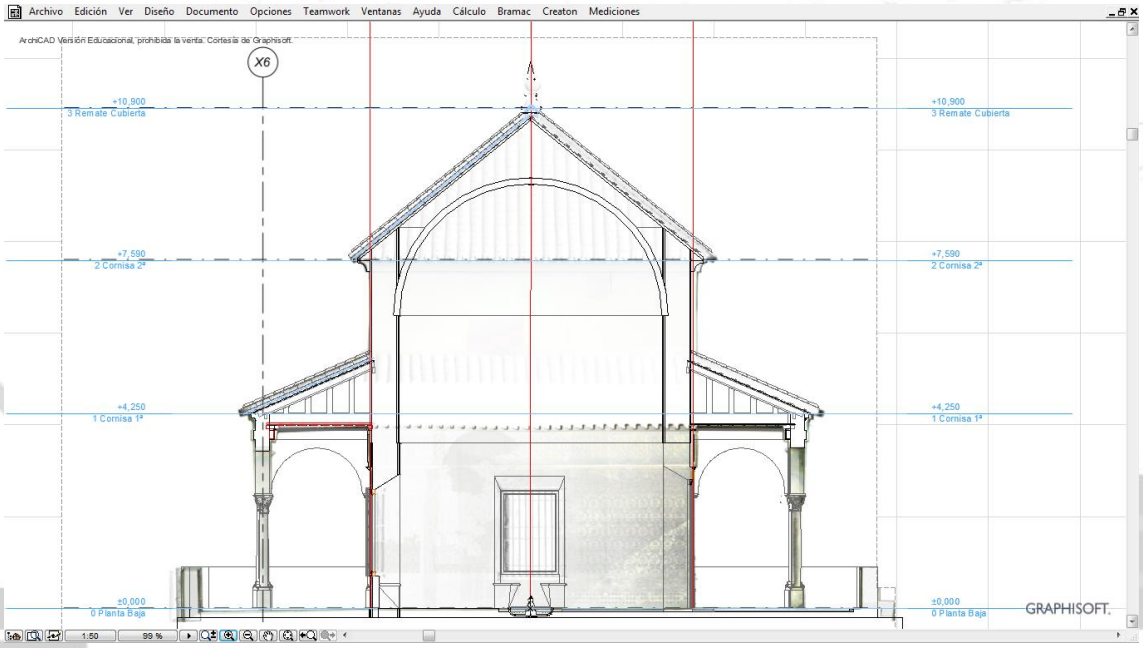


Fig. 277. Sección hacia el Norte contrastando los planos de muros con la referencia de la nube de puntos.

Si observamos las imágenes siguientes, la desviación real que experimenta el muro escaneado por encima del primer faldón, respecto al elemento *muro* en el segundo nivel del modelo (+4.25, Cornisa 1ª), es considerable. Estos datos obtenidos del levantamiento por escaneo 3D nos han facilitado

considerablemente las labores de un modelado preciso y fiel al existente (Fig. 276).

En la figura de la izquierda, con la opción Trazar con Referencia activada, se aprecia muy bien la sección frontal dada a la nube de puntos facilitándonos una correcta comparativa con el cerramiento del Cenador. La figura de la derecha muestra la misma vista pero sin activar Trazar con Referencia. En ambas son evidentes los sectores de los muros con desplomes y hundimientos al desbordar los contornos de los elementos del modelo.

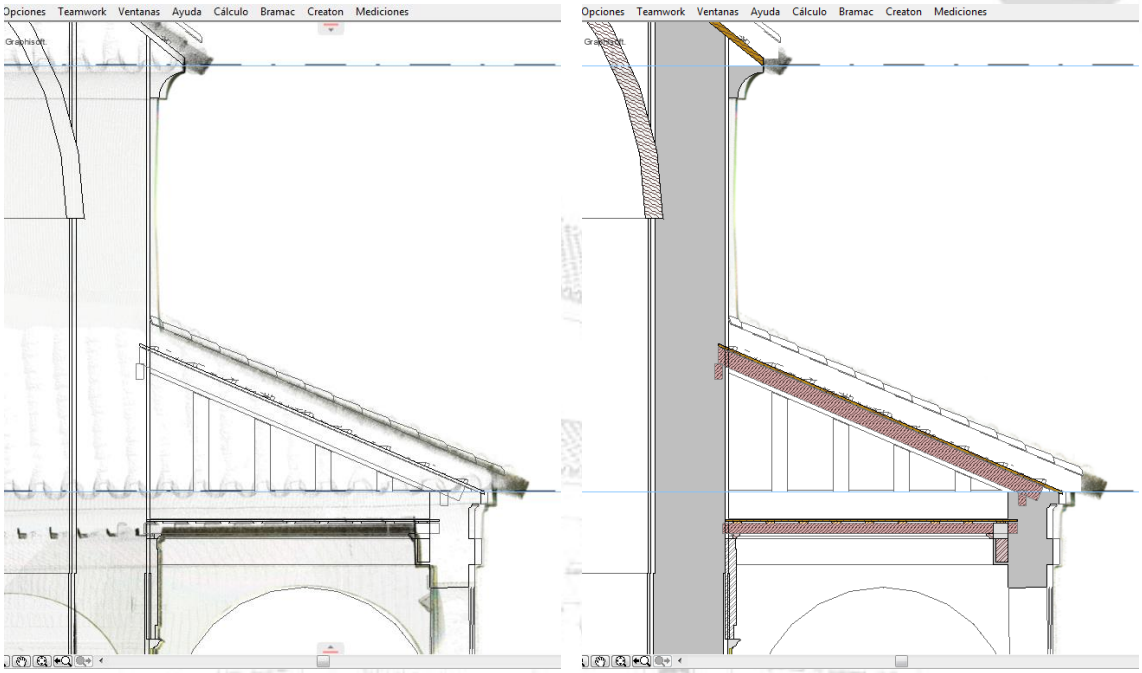


Fig. 278. Comparativa del cerramiento del Cenador sobre el faldón de cubierta (+4.25, Cornisa 1ª) con la plantilla de imagen, por sección frontal dada a la nube de puntos: a) Opción Trazar con Referencia activada; b) Con la opción Trazar con Referencia desactivada. ArchiCAD 16/17.

El procedimiento inicial de modelado consistió en insertar los objetos en la maqueta con las dimensiones básicas que se tomaron in situ del Cenador de Carlos V. En una fase posterior se contrastaron con los contornos de las secciones realizadas a la nube de puntos, adjuntándonos a deformaciones y desplomes que los mismos elementos habían adquirido a lo largo de su historia.

Aquí fue necesario tener varias vistas de referencia, tanto en horizontal como en vertical, pues las desviaciones eran motivadas fundamentalmente por asentamientos en las esquinas del Cenador, afectando pues a sus dos planos inclusivos. Los desplomes de muchas columnas quedaron evidenciados al comprobar la verticalidad con el trazado de líneas guías[174] en los contornos de las figuras mostradas en la vista de referencia (Fig. 277).

[174] ArchiCAD nos facilita la inserción de líneas auxiliares temporales que toman la dirección de aristas o caras proyectadas de manera automática para usarlas como referencias. También se pueden insertar de manera intencionada entre dos puntos marcados para adquirir una inclinación. Se muestran discontinuas y en color rojo.

Fig. 279. Las líneas guías en color rojo muestran el desplome de los objetos columnas (Col-11 y Col-12) insertadas inicialmente en la logia de la fachada Norte respecto a la vista de referencia de la nube de puntos.

En la imagen siguiente se muestra la desviación de 0.87º que toma la columna 11 de la fachada norte en su encuentro con el capitel. Para el ajuste en la columna se aplicó un ángulo de giro respecto a la horizontal (piso planta baja) de 89,13º (Fig. 278).

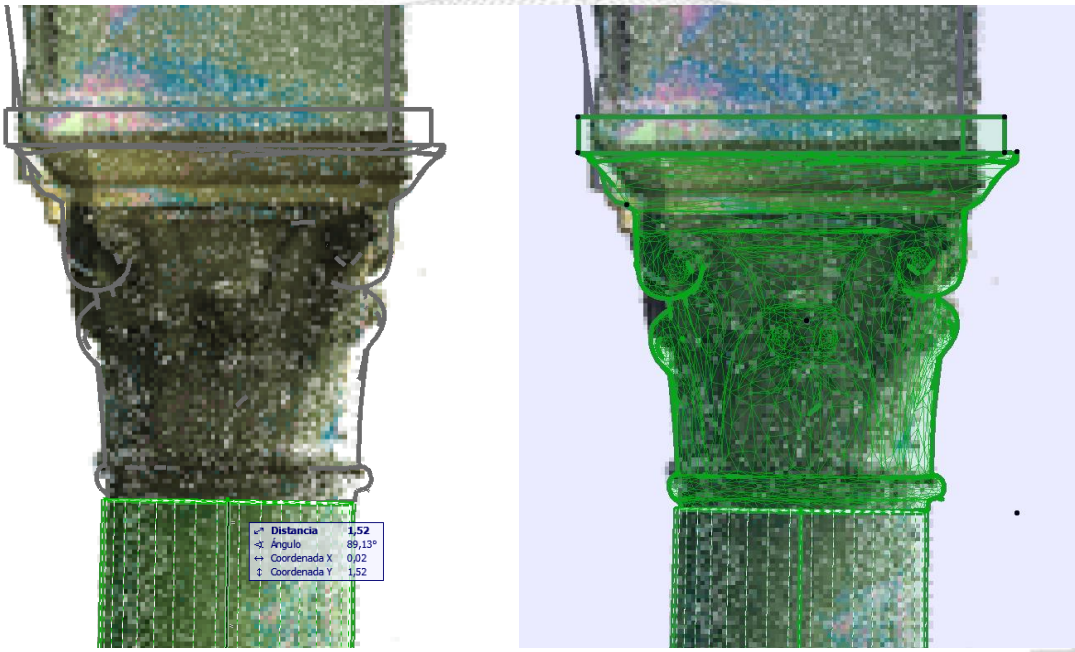


Fig. 280. a) La columna se ha girado 0,87º para acoplarse al Capitel 11; b) La columna presenta ahora el desplome real capturado en el levantamiento por el escáner láser 3D.

8.3.8.3. Inserción del archivo de nube de puntos en ArchiCAD

Como comentamos en el capítulo 6 dedicado al análisis de aplicaciones, el nuevo e experimental *add-on* creado por el fabricante Cadimage ha sido trascendental en la importación de archivos de nube de puntos directamente desde ArchiCAD. De este modo hemos podido referenciar el modelado a las coordenadas de los puntos capturados por el escáner láser y que definen la geometría real del edificio[175].

En esta fase nos hemos limitado al estudio del muro del Cenador de Carlos V más deteriorado, concretamente el muro con orientación sur, para contrastar los nuevos resultados obtenidos con los expuestos anteriormente al aplicar el asistente del software Revit. El procedimiento empleado lo podríamos sintetizar en las siguientes fases:

1. Primeramente convertimos la nube de puntos en archivo .xyz para poderse insertar en ArchiCAD desde su asistente *Point Cloud*. Esta labor la realizamos desde el Software MesLab, que nos permitió exportarlo en este formato.

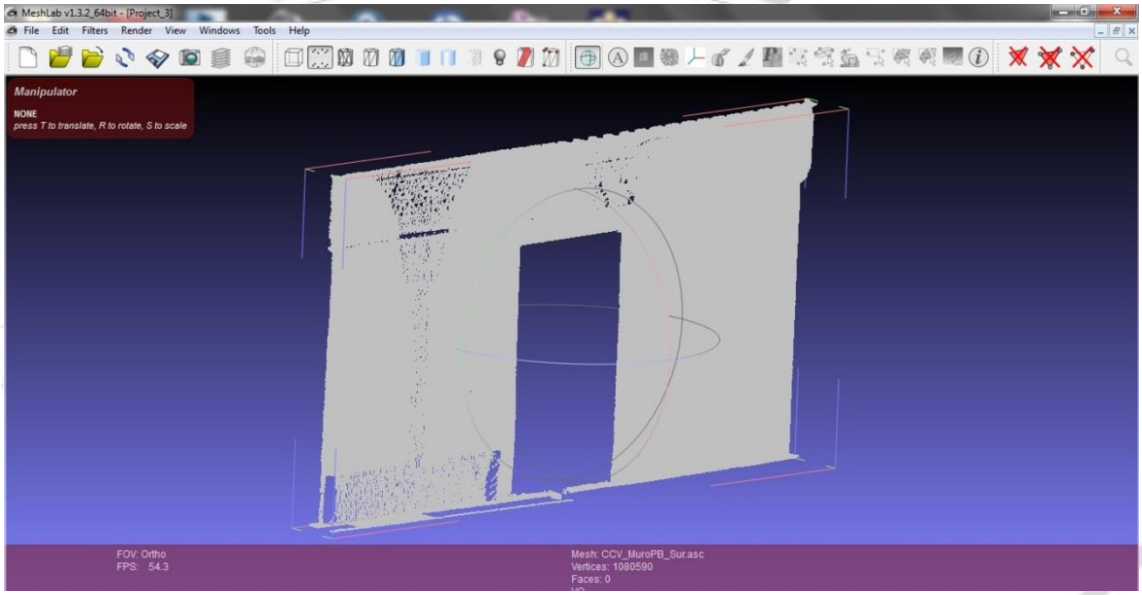


Fig. 281. Vista SE Muro PB-Sur limpiado en el Software MeshLab.

2. Después se importó desde ArchiCAD en un proyecto nuevo, limpio de información, para evitar archivos muy elevados (el archivo manipulado disponía de 1076604 vértices). Pensemos que un muro de estas dimensiones lo componen un elevado número de puntos, que posteriormente debe sufrir una transformación en superficies poligonales con procesos algorítmicos que aumentarán considerablemente los datos.

[175] La extensión Point Cloud de Cadimage está en fase experimental. La versión Beta no dispone actualmente manual de uso específico, por lo que es el propio usuario en base a sus necesidades y por la experiencia adquirida el que determine las funcionalidades y sistemática del asistente, conformándose un tutorial al efecto.

3. Posteriormente la nueva identidad se insertó en nuestro proyecto HBIM como un objeto paramétrico para que nos sirviera como referencia en la fase de modelado[176].

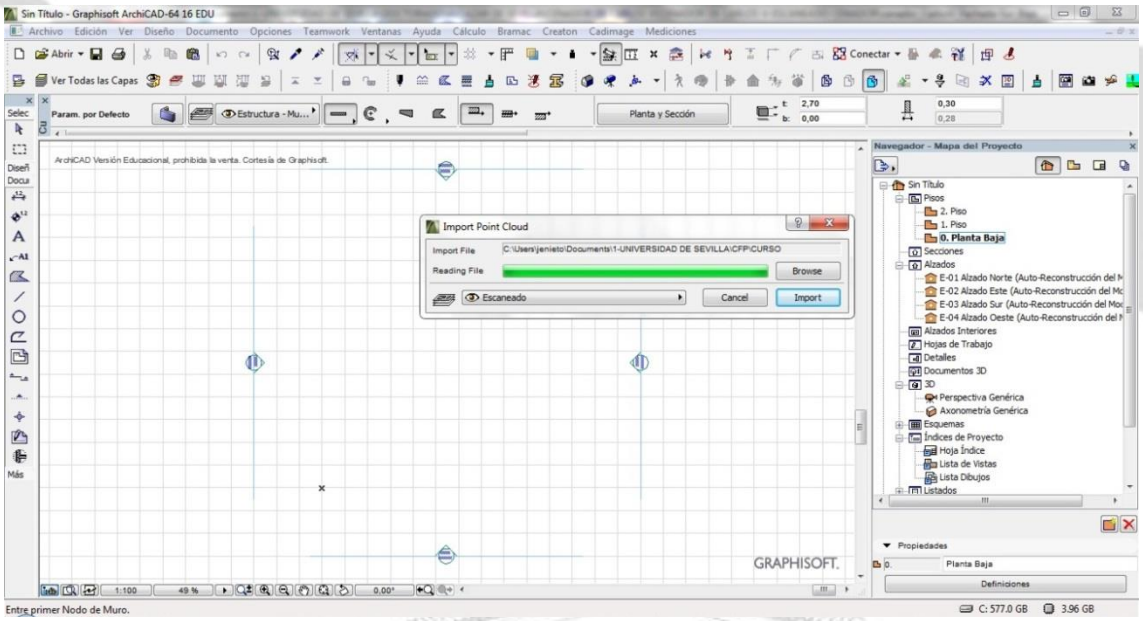


Fig. 282. Importación del archivo Point Cloud xyz en ArchiCAD.

A diferencia de la técnica anterior empleada para el modelado en ArchiCAD, que se auxiliaba de plantillas referenciada con vistas ortogonales[177], aquí hemos pretendido realizar una captura directa de los puntos espaciales para crear superficies adaptadas a las medidas exactas del escaneo. Pero, al día de hoy, el accesorio *Point Cloud* importa la nube de puntos como un conjunto de coordenadas espaciales (x_i,y_i,z_i) sin la posibilidad de listar los datos intrínsecos por separado, lo que dificulta la selección de sectores para ir creando superficies.

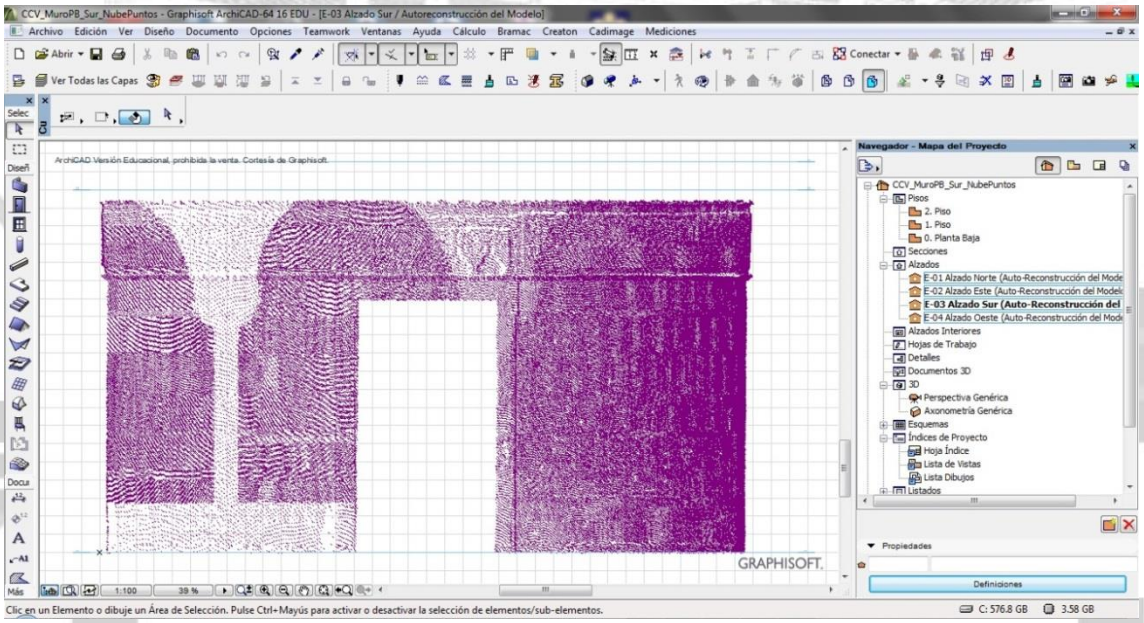


Fig. 283. Alzado Muro PB-Sur en nube de puntos visualizado en el intefaz del sofware ArchiCAD.

[176] El objeto quedará incrustado en la biblioteca del proyecto de ArchiCAD.
[177] Vistas sacadas de la nube de puntos después de ser gestionadas desde el API de Revit (en archivos pdf).

4. En esta nueva fase fue fundamental el uso de la nueva herramienta Forma, incorporada desde la versión 16 de ArchiCAD, para crear elementos con libertad de diseño y evitar hacer uso de otros programas para el modelado de formas especiales que después hay que importar a nuestro proyecto HBIM.

   Seleccionamos la porción de la nube de puntos, insertada como un único objeto paramétrico, y la convertimos en elemento Forma. A partir de este momento los puntos se encontraban liberados del global anterior, dándose solo pequeños conjuntos derivados por alguna coincidencia de parámetros. Así pudimos realizar la discriminación de puntos y tomarlos como referencia para la creación de paños en la fachada examinada.

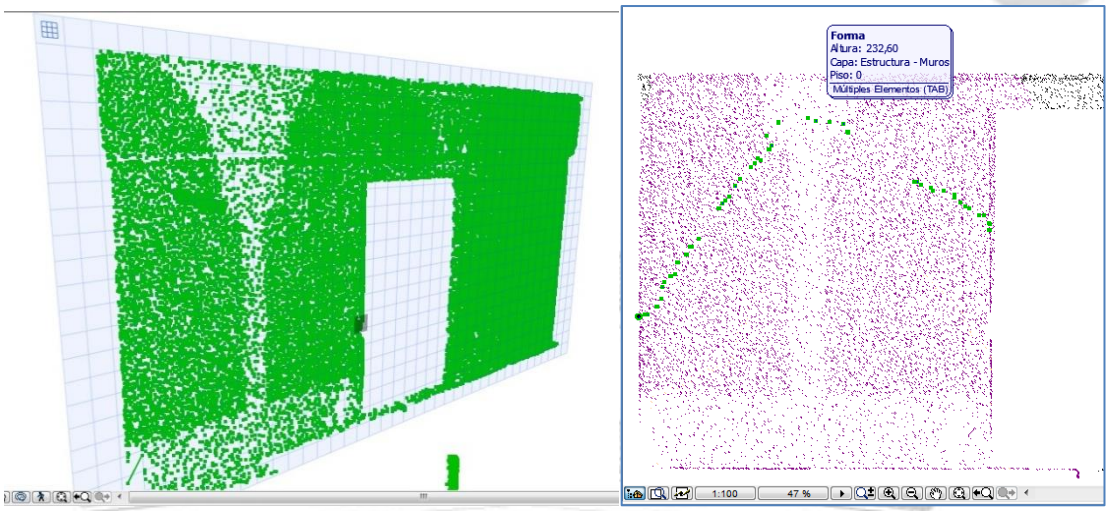


Fig. 284. a) Nube de puntos del Muro PB-Sur convertido en Forma de ArchiCAD. b) Selección de un punto del borde izquierdo de la fachada escaneada, perteneciente ahora a una pequeña agrupación.

Siendo una labor manual la selección y medición de la posición exacta del punto respecto al origen del proyecto o extremo relativo[178], ya que el asistente no nos permite una selección automática de puntos por coincidencia de coordenadas, procedimos a agilizar el trabajo tomando solo los puntos coetáneos en intersecciones o quiebros de las superficies de la fachada.

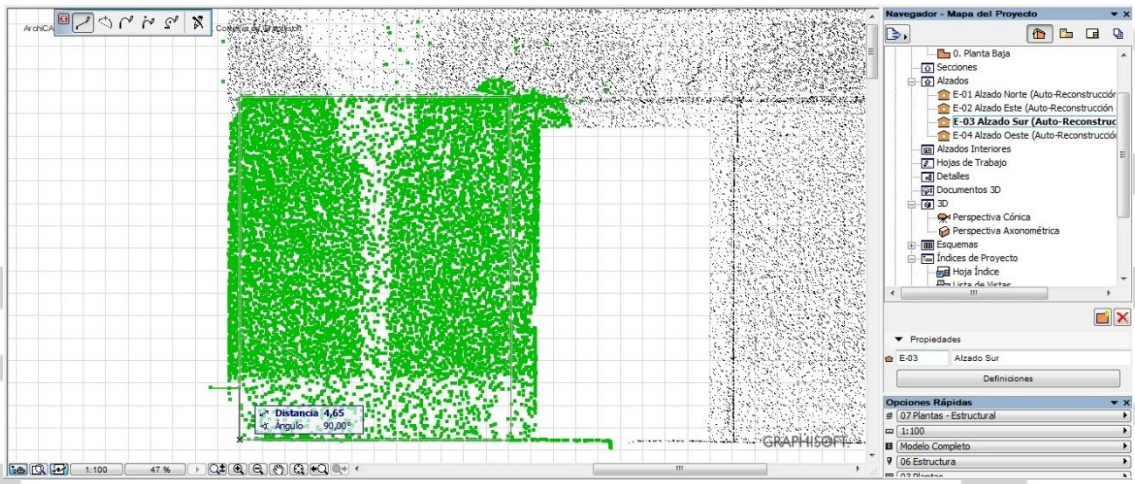


Fig. 285. Captura de puntos de un sector del Muro PB-Sur ya convertidos en una Forma de ArchiCAD. Esta tarea es previa a la creación de una superficie para la fase de modelado.

[178] En ArchiCAD se conoce como origen del usuario.

Esto se produce en zonas de la vista donde hay mayor intensidad de color (coincidiendo con rincones, bordes y cambios de dirección), debido a una alta concentración de puntos de la nube por superponerse proyecciones de otros planos.

5. Después creamos superficies por sectores en base a los puntos extremos uniendo los puntos con la polilínea de la herramienta Forma (opción poligonal).

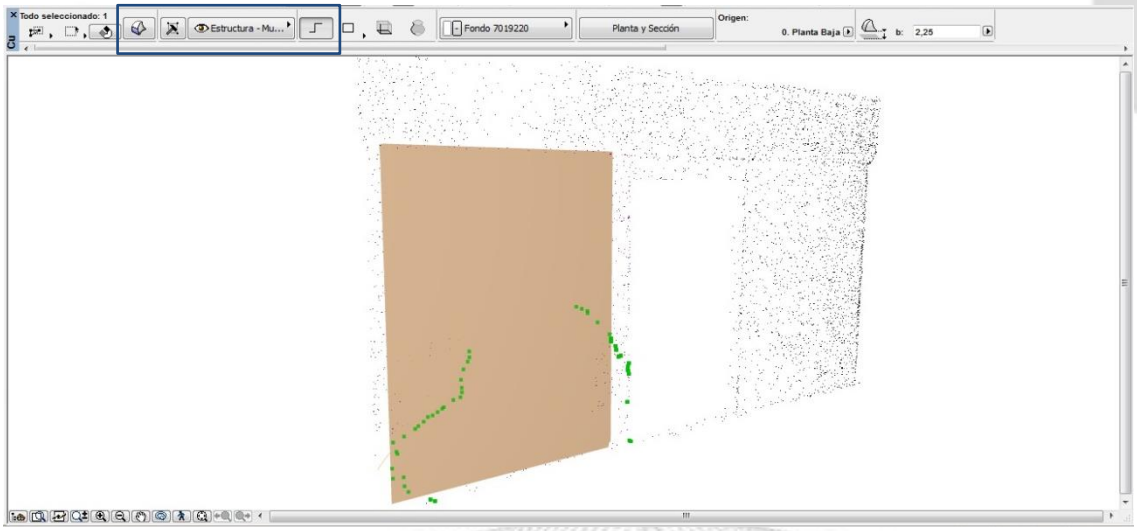


Fig. 286. Plano creado e incrustado en la nueva Forma Muro PB-Sur dentro de ArchiCAD.

Y aplicamos la opción Cubrir con Caras de modificar Forma para generar la geometría de la cara, pudiendo elegir entre Bordes afilados o Superficie suavizada (Fig. 202). Pero sabíamos que este procedimiento obviaba desviaciones intermedias al quedar puntos fuera del nuevo plano, identificaciones importantes que deberían ser estimadas en los casos de constituir deformaciones o desplomes considerables para ser incluirlos en los estudios patológicos posteriores.

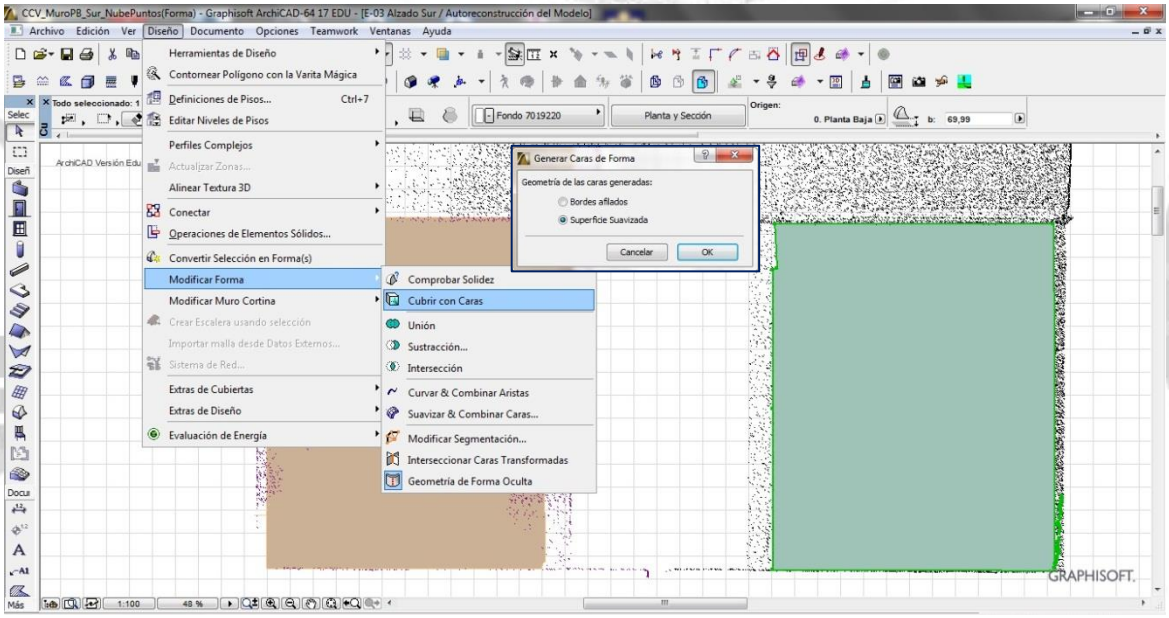


Fig. 287. El Plano de la derecha del Muro PB-Sur se ha creado con el asistente *Modificar Forma* y eligiendo la opción *Cubrir con Caras*. Nos ha permitido generar caras de Forma en base a unos vértices marcados.

La solución a este problema estaría en sectorizar en base a una buena auscultación de los paramentos para evitar descartes de puntos, que aparecen superfluos al principio pero que pueden ser valiosos en posteriores estudios. Y de manera complementaria aplicar siempre una mayor escala de trabajo en estas zonas para que los contornos se acoplen a los puntos definidores de la irregularidad.

8.4. Generación de ortoimágenes para el mapeado de superficies

Una vez cubiertas las fases de levantamiento y modelado, dispondremos de un modelo virtual en 3D con una geometría precisa que está listo para incorporarle toda la información en cuanto a propiedades físicas, constructivas y espaciales.

Aunque a la vez que hemos ido modelando le hemos asociado un material predeterminado a las superficies de cada elemento constructivo[179], es en esta nueva etapa cuando se nos hace imprescindible la aplicación de texturas reales para conformar el modelo BIM. Ahora le corresponde a la fotogrametría cubrir las labores de restitución de las fotografías actuales tomadas del edificio a modelar, y posteriormente proceder al mapeado de sus superficies.

Para una correcta exploración y análisis del edificio histórico en base a un modelo BIM es necesario disponer de datos reales de sus materiales en las superficies de los elementos constructivos. Esta información hay que incorporarla manipulada, mediante un proceso de conversión de las fotografías originales en texturas restituidas u ortoimágenes, y proceder así al mapeado del modelo.

Ya hicimos una presentación en el capítulo 7 de las aplicaciones más adecuadas para la manipulación de la imagen enfocada a la representación del patrimonio edificado, tema muy condicionado por las características geométricas propias del hecho arquitectónico. Es indudable que para el modelo del Cenador de Carlos V los elementos más representativos lo forman sus alicatados y pavimentos, elementos que están faltos de resaltes o profundidades destacable, por lo que la aplicación de la técnica de orto-restitución es apropiada.

Han sido varios los softwares específicos usados en la generación de orto-imágenes al disponer todos ellos de herramientas eficaces y precisas para la rectificación de la fotografía, y que hemos alternado en función de la mejor aplicabilidad en cada caso[180]. Como veremos en los aparatados siguientes, los resultados obtenidos han sido adecuados para una exploración al detalle del modelo BIM.

[179] Inicialmente hemos usado los materiales de la biblioteca básica de ArchiCAD.
[180] Adobe Photoshop CS5/6, ASRix y Photoscan de Agisoft.

8.4.1. Rectificación fotogramétrica de los Paños de azulejos

Hemos de indicar que las azulejerías del interior de la sala central del Cenador se encuentran en buen estado, mientras que la mayoría de los paños de azulejos del exterior necesitan una restauración urgente. Por ello las ortoimágenes (u ortofotos) del modelo constituirán una documentación eficaz para el especialista interviniente en una futura intervención. Aunque para ello habría que estructurar la información acorde con métodos lógicos en restauración, motivo que nos ha influenciado para realizar una fragmentación de las superficies de los muros en sectores funcionales, que facilitarán un análisis bien estructurado y servirá de apoyo para la clasificación de cada piezas antes de un desmontaje o reparación "in situ".

Para lograr una imagen rectificada de manera fácil y sin abusar de las herramientas de transformación del software, es recomendable que se tome de manera frontal al elemento. Esto era inviable en nuestro modelo si queríamos conseguir una imagen completa en una sola toma de cada cara exterior de los muros que cierran la sala central del Cenador, pues necesitaríamos una distancia focal que superará el ancho de las logias (7 metros) y con la dificultad añadida que encontraríamos los pórticos delanteros sustentados de columnas y los poyetes perimetrales que obstruyen partes de la visual de la azulejería.

Ya que no íbamos a disponer de cámaras semi-métricas, lo recomendable era usar una distancia focal fija para evitar errores de procedimiento. La otra opción sería situar en los paramentos a fotografiar patrones visibles en cada toma, con objeto de usarlos para la corrección de la óptica[181].

Así que, para los alicatados exteriores optamos por realizar fotografías en una sucesión de tomas correlativas por todo el perímetro, para después rectificarlas y delimitarlas por bordes o cambios en la tipología de la pieza que facilitaran la caracterización. Posteriormente fueron colocadas en el modelo HBIM en sectores identificados y acotados, aprovechando que los paños de azulejos estaban remarcados por cenefas y listeros (Fig. 286).

La sistemática empleada para el mapeado de los muros se sustenta en la importancia que tendrán las ortofotos en la exploración multidisciplinar de los elementos integrantes de paramentos: alicatados, aparejos, mampuestos, artesonados y demás piezas arquitectónicas posicionadas en el edificio histórico.

[181] La distancia focal no sólo afecta a la escala del modelo sino perturba los parámetros de corrección de la óptica. Por tanto, es necesario conocer en qué condiciones de distancia focal se realiza cada toma para proceder a la corrección (Barrera,2006:237).

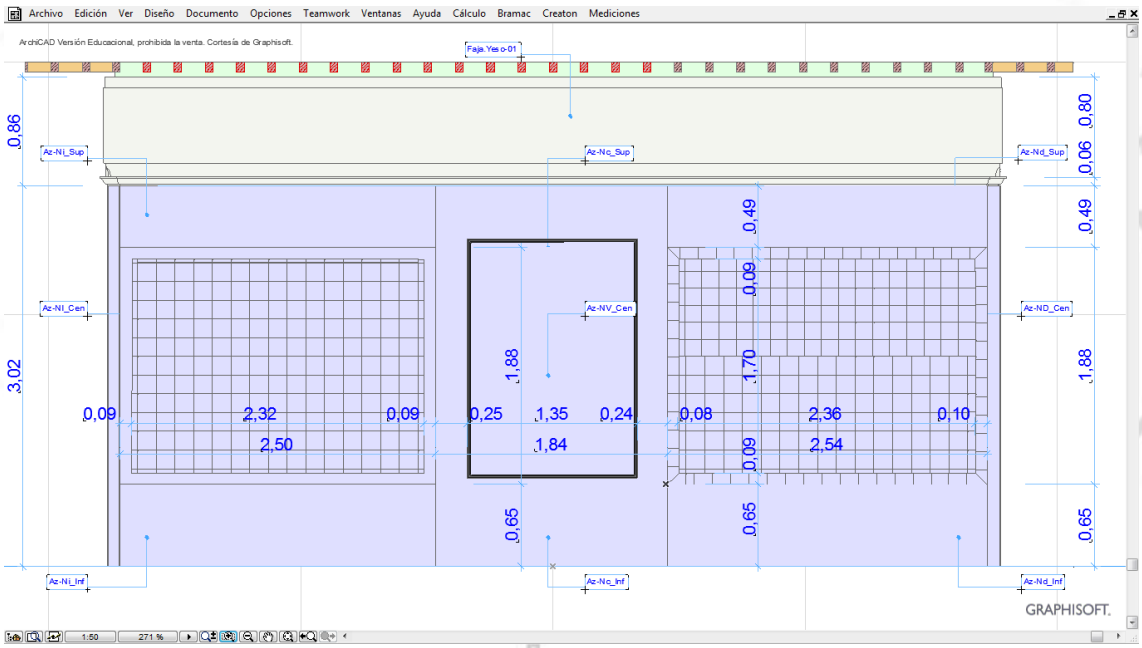


Fig. 288. Sectorización de los paños de azulejos en la fachada norte del Cenador. En el alzado de ArchiCAD se ven identificados con etiquetas cada paño y posteriormente acotado. Se ha usado la herramienta *Forma*.

Es habitual que el mapa de cualquier textura suministrada de una biblioteca de materiales se haya sacado de un módulo base para repetirse en una matriz las veces necesarias y cubrir la superficie del elemento, dependiendo el número de filas y columnas de las dimensiones de la ortoimágen. Pero la diferencia del levantamiento de un lienzo existente es que lo debemos representar tal cual, con sus peculiaridades históricas, no sirviendo patrones preestablecidos.

Por ello, realizamos una medición precisa de los bordes definitorios de cada sector para disponer de las coordenadas de todas las esquinas y usarlas como referencias exactas en la posterior rectificación de las imágenes. Las ortoimágenes se asociaron después a los elementos superficiales, integrándolos en una capa exclusiva del modelo (*Acabados Muros*) para gestionar bien la información en cuanto a visualización y generación de listados de datos.

Este desglose de los revestimientos exteriores del Cenador nos obligó a crear primeramente una superficie exclusiva para cada paño de azulejos (Fig. 287) e incorporarla en la biblioteca de superficies de ArchiCAD. Después fueron seleccionadas una a una para ser asociada a la cara expuesta de cada paño (Fig. 288).

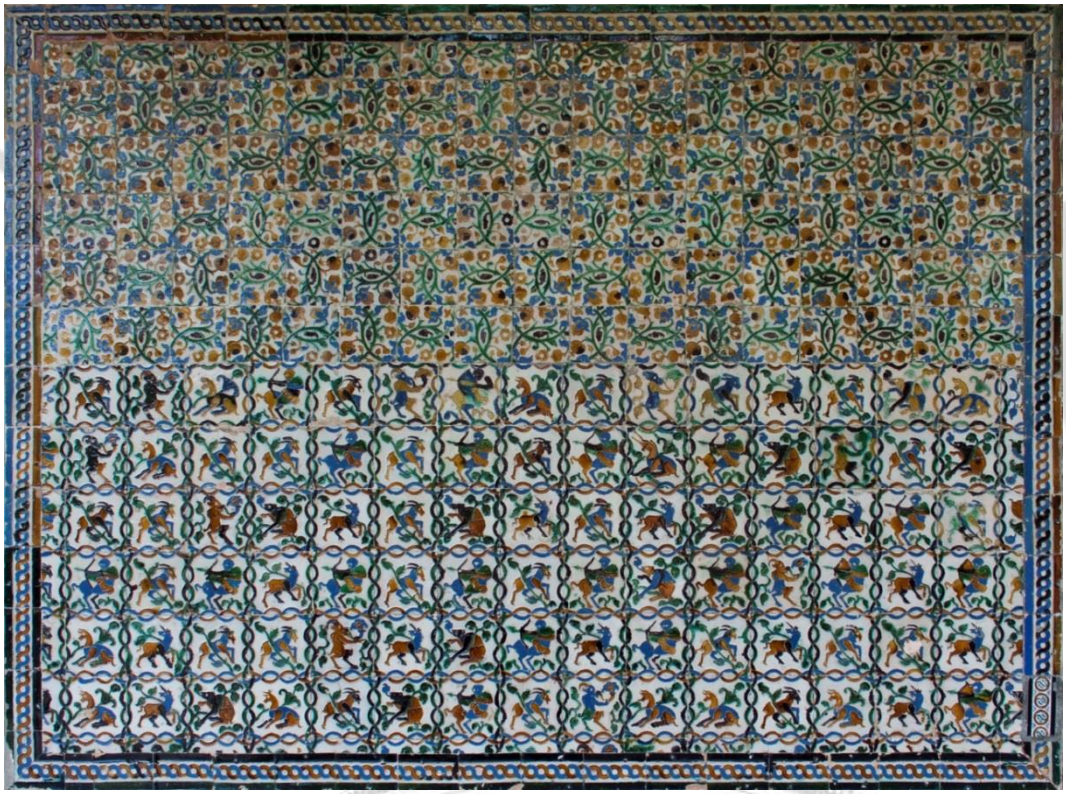


Fig. 289. Paño Central del lateral derecho. Alicatado exterior del muro con orientación norte.

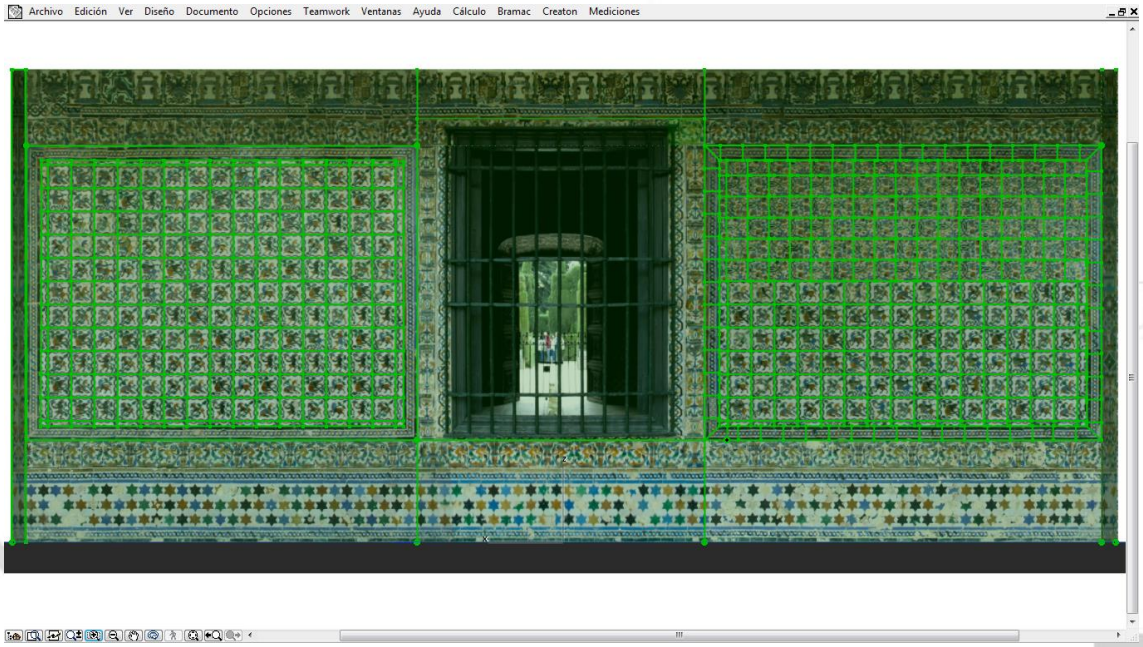


Fig. 290. Vista frontal del alicatado norte, extraído del Navegador de ArchiCAD. Los paños centrales, a ambos lados de la ventana, están a su vez subdivididos por vectores para asociarlos a cada azulejo o cenefa

Para el caso de los revestimientos con azulejos de los paramentos interiores, el procedimiento seguido ha sido distinto debido a que el estado de conservación era bueno y no se presuponía una restauración. Aquí, actuamos directamente sobre el tramo de muro que íbamos a mapear para asociándole una única textura, que cubrió por completo todo el alzado. Este procedimiento de manipulación es mucho más rápido ya que se parte de una sola toma fotográfica por cada alzado, pues las dimensiones de la sala me permiten el empleo de una distancia focal adecuada y sin obstáculos.

En las figuras siguientes mostramos la síntesis del procedimiento de restitución fotográfica utilizando el asistente o filtro de *Corrección de lente* de Photoshop. Se aplicó una corrección geométrica, cromática y de viñetas para el modelo de cámara Canon EOS 600D[182].

Fig. 291. Toma Fotográfica única del Alzado Interior Sur.

Para ello se eligió el objetivo EF-S18-55mm f/3.5-5.6 IS II, con un ajuste de 18mm, f/4, 3.49m (datos adquiridos automáticamente de los metadatos de la fotografía).

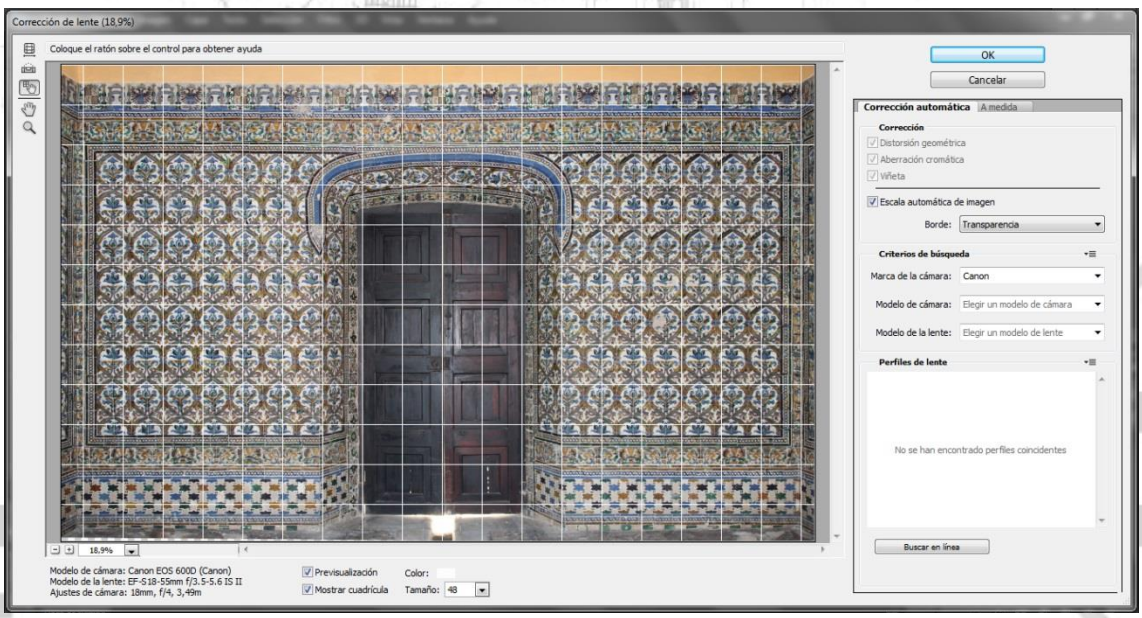


Fig. 292. Se ha aplicado el filtro *Corrección de lente* para el modelo de cámara Canon EOS 600D, tipo de objetivo EF-S18-55mm f/3.5-5.6 IS II, y con un ajuste de cámara de 18mm, f/4, 3.49m. Adobe Photoshop CS6.

[182] La Corrección de la distorsión geométrica compensa el efecto barril, acerico o la distorsión de ojo de pez. Con la Eliminación de viñetas se realiza una compensación de exposición en las imágenes, eliminando los bordes oscurecidos causados por defectos de la lente o por un sombreado inadecuado.

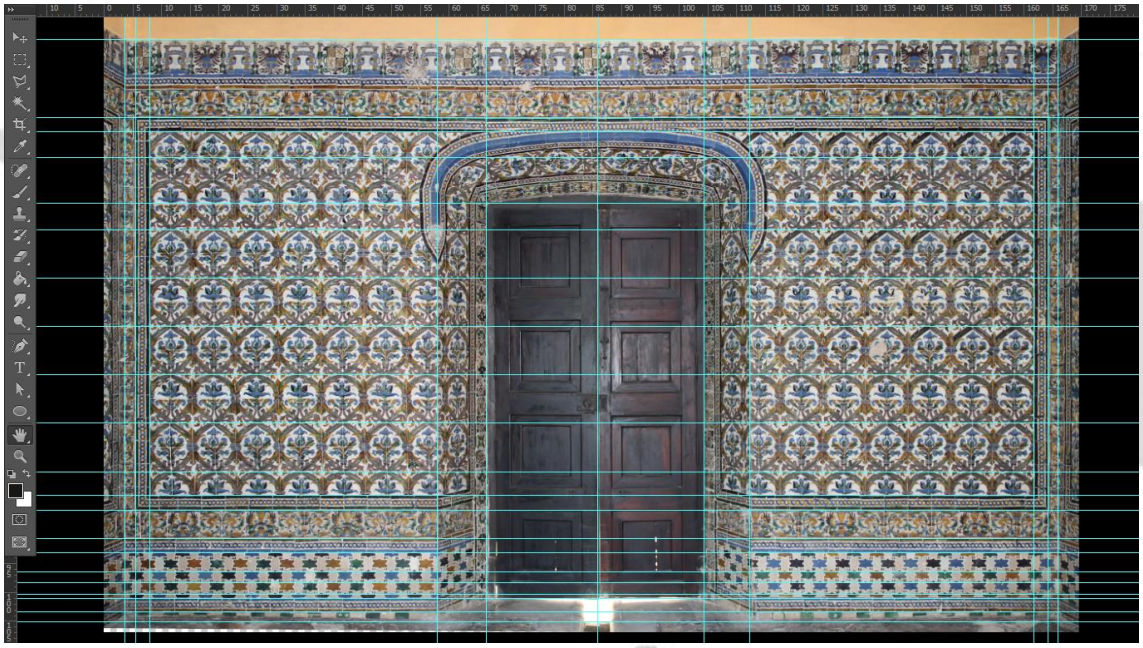


Fig. 293. Transformación de la fotografía tomada sobre el alicatado interior del muro sur. Las líneas gruía de Adobe Photoshop nos ha facilitado el alineamiento de los paños después de la corrección de lente

Fig. 294. Fotografía rectificada y recortada (en su plano frontal) para asociarla al intradós del muro Sur. Las superficies de las jambas y el arco que envuelven a la puerta se rectificarán sobre nuevas imágenes tomadas con la cámara frontal a dichos planos.

8.4.2. Composición de imágenes para texturas

También suele ser habitual combinar varias fotografías para crear una imagen continua cuando el plano de visión de la cámara no barre toda la vista panorámica. Como ya hemos expuesto anteriormente, en nuestro modelo nos encontramos con zonas difíciles de fotografiar en una sola toma evitando obstáculos en la perspectiva. Los frisos de yeserías que remataban alicatados exteriores quedaban ocultos por la arquería de las logias, lo que dificultaba la

creación de la ortoimágen como textura única para su aplicación a la superficie expuesta del elemento.

Recurrimos para ello al asistente *Photomerge* de Photoshop para configurar una composición de los archivos de imagen a combinar y obtener automáticamente una única panorámica[183].

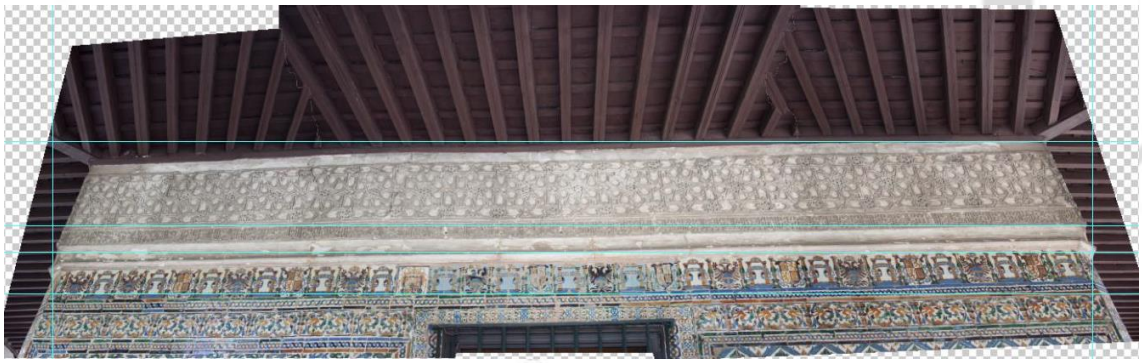


Fig. 295. Acople en *Photomerge* de Photoshop de tres fotografías tomadas del friso de yeserías de la fachada Oeste del Cenador de Carlos V.

Es fundamental que las fotografías utilizadas deban ser originales (no manipuladas) para evitar errores en la composición. Aunque hay otras contrariedades que pueden ser minimizados si se siguen unas directrices básicas en la sesión fotográfica, y que ahora expondremos:

- Las imágenes deben superponerse aproximadamente 15% a 40%. Una coincidencia menor dificultaría el acople automático del panorama. Si las imágenes se solapan en un 50% o más, puede ser difícil trabajar con ellos, y la mezcla puede no ser tan eficaz.
- Utilizar una distancia focal constante.
- Evitar el uso de la función de zoom de la cámara mientras toma las imágenes.
- Mantener el nivel de la cámara constante.
- Utilizar un trípode con un cabezal giratorio para mantener la alineación de la cámara y el punto de vista. Si no se dispone de él, evitar inclinaciones de más de unos pocos grados si queremos montar automáticamente el panorama.
- Permanecer en la misma posición, sin cambiar la ubicación de la cámara. Usar el visor óptico con la cámara en posición cerca del ojo nos ayudará a mantener el punto de vista consistente. O tratar de usar un trípode para mantener la cámara en el mismo lugar.
- Evitar el uso de lentes como *de ojo de pez*, que distorsionan notablemente la imagen.
- Evitar el uso del flash en algunas fotos y no en otras[184].

[183] El asistente Photomerge de Photoshop puede combinar fotografías segmentadas tanto horizontal como verticalmente. http://tv.adobe.com/watch/learn-photoshop-elements-9/using-photomerge-panorama/.

- Mantener la misma exposición. Algunas cámaras digitales cambian los ajustes de exposición automática que permite tomar fotografías, por lo que es aconsejable comprobar los ajustes de la cámara para asegurarse de que todas las imágenes tienen la misma exposición.

Una vez obtenido el panorama, sólo nos quedaba la restitución fotogramétrica. Como disponíamos de las dimensiones de los lienzos de yeserías, pasamos a la fase de transformación de la composición para ajustarla a los contornos de la superficie visible del elemento ya inserto en el modelo BIM.

Fig. 296. Ortoimagen del friso de yeserías de la fachada Oeste basada en una Composición previa realizada con *el* filtro *Corrección de lente* de Adobe Photoshop. Elaboración propia.

Algunas de estas sugerencias fueron difíciles de aplicar en la sala del Cenador a la hora de fotografiar el pavimento. Teníamos la dificultad de no disponer de una luz potente y homogénea en el interior, con el añadido de que no pudimos fijar la cámara en el techo al no disponer de un sustento firme (la cúpula estaba protegida por una malla antipájaros muy flexible que no soportaba el peso del equipo). Decidimos finalmente que las fotografías se realizarían siguiendo una matriz posicional en un número reducido de tomas, coartado por la altura de la pértica que sustentaba la cámara, que permitiera un solapamiento idóneo de las imágenes.

La técnica elegida nos proporcionó una matriz de imágenes que conformaría la base para generar la composición a modo de collage. Seleccionamos la opción de diseño de Photomerge idónea para el análisis de las imágenes originales y obtener una *perspectiva* lo menos deformada posible. Hay que indicar que la aplicación crea una composición equilibrada mediante la designación de una de las imágenes de origen como referencia (por defecto, la imagen central). Las otras imágenes se transforman (cambian de posición, estiran o se sesgan debidamente) para que la superposición de capas de contenido se correspondan. Para el caso del pavimento, la opción más acorde era la de *collage,* que se basa principalmente en alinear las imágenes incluidas en las capas por superposición y aplicar las transformaciones (rotar y escalar).

Por último, ejecutamos la rectificación de la composición fotográfica del pavimento apoyándonos principalmente en las coordenadas (x,y) conocidas de los cuatro rincones de la sala y en los puntos extremos que determinaban el marco del mosaico central, utilizando para ello el software ASRix (Fig. 295).

[184] La función de mezcla avanzada del asistente Photomerge ayuda a suavizar las diferentes exposiciones, pero las diferencias extremas dificultan la alineación.

Fig. 297. Montaje y fotorestitución del pavimento de la sala central del Cenador. Adobe Photoshop y ASRix. Fuente: Carlos Gómez, 2013.

8.4.3. El ajuste de las texturas

En nuestro caso, todas las nuevas superficies estaban ajustadas en dimensiones al contorno del paño por ser única (matriz de 1x1). La posición de la textura en la cara del elemento respecto a un origen de coordenadas relativo coincide, por defecto, con el nodo inferior izquierdo de su contorno. Pero cuando se dan formas poligonales irregulares es habitual que tengamos que establecer el posicionamiento manualmente.

Uno de esos casos fue el texturizado de los laterales de huecos y poyetes bajo las tres ventanas en el interior del Cenador. Utilizamos para ello el asistente *Alinear Texturas 3D* para definir el origen y dirección de la textura en las cara editada. Todas las jambas de la puerta y ventanas se revistieron con elementos *forma* (al igual que los paños alicatados de los paramentos exteriores). Ello nos permitió seleccionar individualmente las caras expuestas en el hueco para definir la posición exacta de la textura, quedando al final ajustada a sus contornos (Fig. 296 y Fig. 297).

Este acople manual se repitió para las dos caras visibles de los seis poyetes interiores. Se partió de la transformación de la fotografía en ortoimagen, que luego se utilizó como textura de una nueva superficie creada para introducirla en la cara editada (como sub-elemento de la forma). En las figuras siguientes mostramos dicho procedimiento aplicado al poyete izquierdo de la ventana orientada al norte (Fig. 298 y Fig. 299).

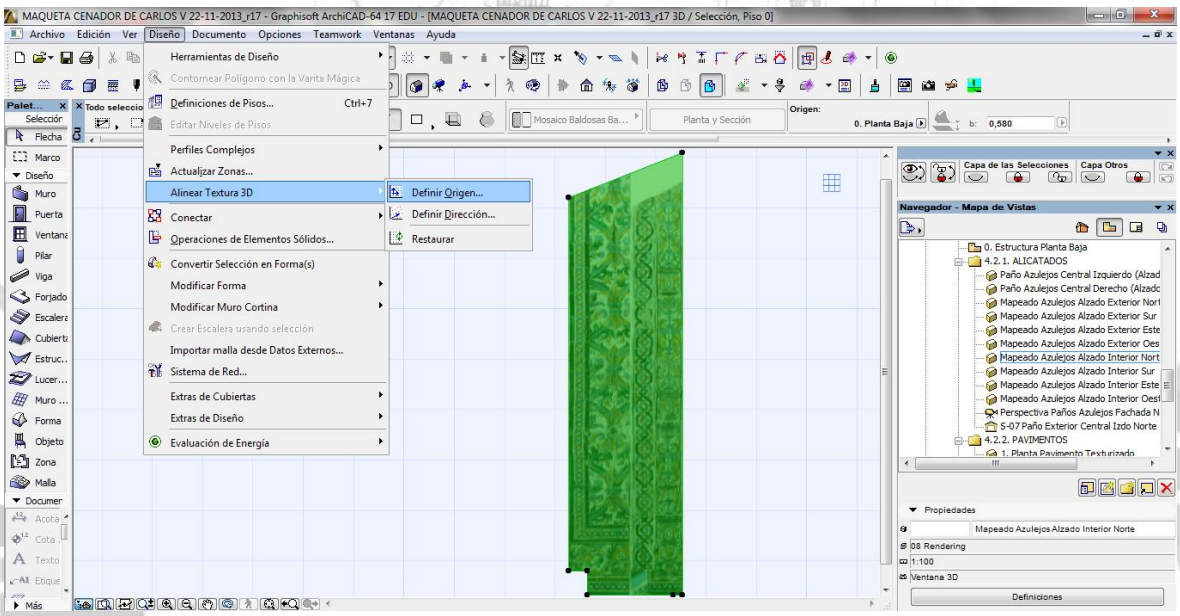


Fig. 298. Una vez seleccionada la superficie de la *Forma* que revestirá la jamba interior de la ventana, se le aplica la tarea de *Alinear Textura 3D* de ArchiCAD.

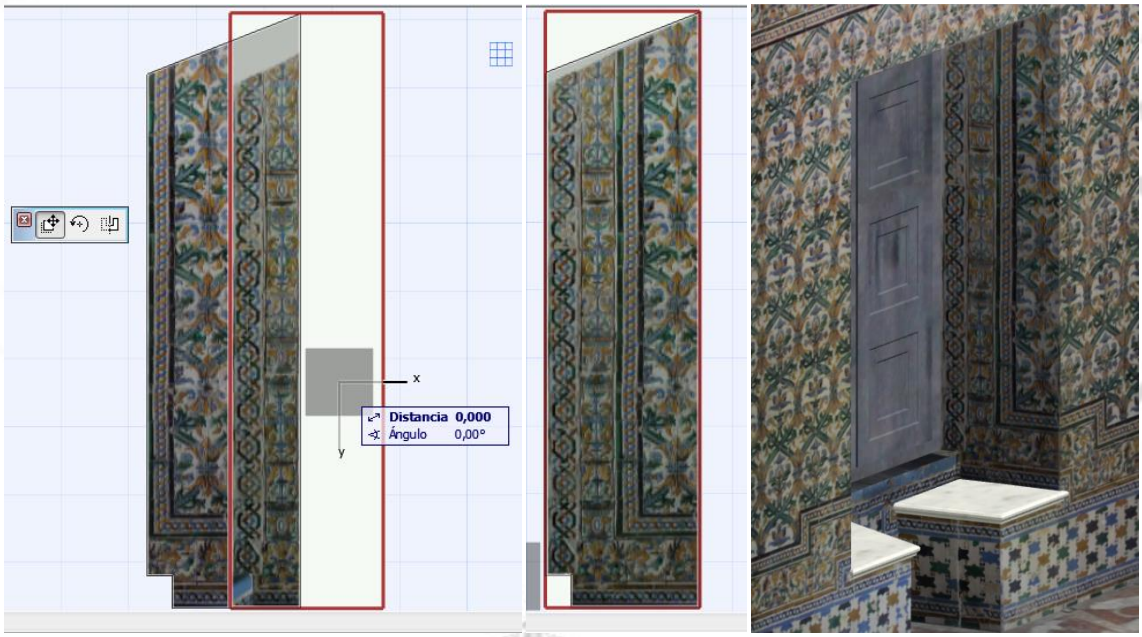


Fig. 299. a) Ajuste de la ortofoto en la jamba derecha de la ventana norte; b) Imagen acoplada en la superficie (el marco rojo determina las dimensiones reales del paño); c) Vista del hueco una vez mapeado.

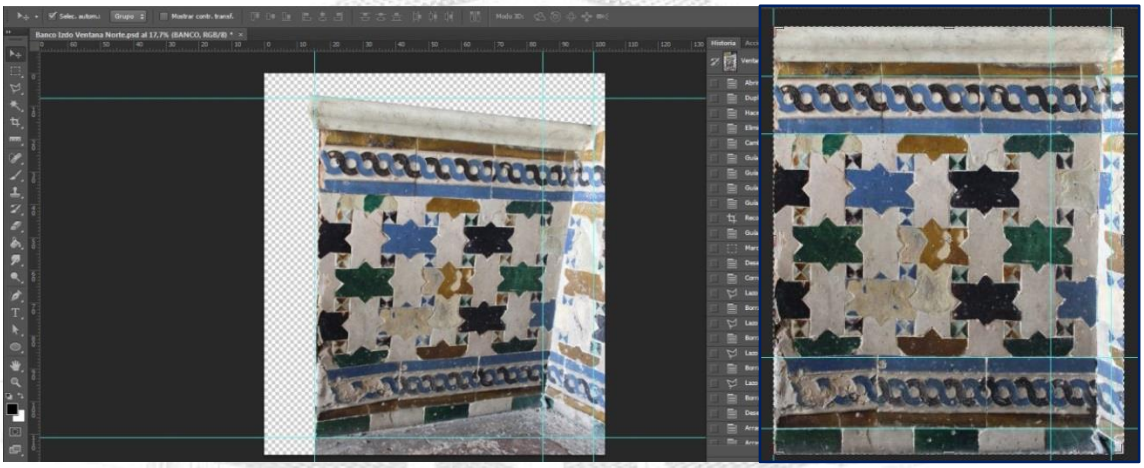


Fig. 300. Transformación de la fotografía tomada sobre el alicatado del paño inclinado en imagen ortogonal. Banco izquierdo bajo la ventana con orientación norte del interior del Cenador. Adobe Photoshop.

Fig. 301. a) Ajuste de la ortofoto, delimitada por el marco rojo, en el lateral del poyete izquierdo; b) Imágenes acopladas en el paño y los dos poyetes inferiores de la ventana norte.

Finalmente, los revestimientos de mochetas, dintel, bajo de ventana y poyetes quedaron ajustados en el hueco. El procedimiento se repitió para las demás superficies expuestas en el modelo BIM, prescindiendo de faltas interpretaciones

en la disposición de revestimientos y elementos decorativos, para que de este modo sirvan de sustento al trabajo de exploración de cada especialista.

Fig. 302. Perspectiva seccionada hacia la ventana Norte, con los mapas acopladas en jambas, dintel y poyetes inferiores. Imagen tomada en la exploración del modelo, con el motor 3D OpenGL de ArchiCAD.

8.4.4. Adaptación a las irregularidades en los paramentos

Éramos conscientes de la existencia de abombamientos y desprendimientos en los paños de azulejos, grietas en las fajas de yeserías y hundimientos en varias zonas del pavimento. En el apartado 8.3.5.Localización de deformaciones en los muros hablamos de estas irregularidades y de las grandes ventajas de incorporar en nuestro proyecto BIM los datos suministrados por los equipos de medición (como nube de puntos o transformada en malla poligonal).

Estos hechos nos motivaron a emplear la herramienta de diseño *Forma* para crear los revestimientos exteriores de los cuatro muros que cierran la sala central, ya que nos ofrecía grandes ventajas de modelado en comparación con la herramienta *Muro*. La nueva herramienta nos brinda la flexibilidad de poder deformar sus caras para ajustarnos a las irregularidades del propio muro. En este estadio destacaríamos su gran potencialidad, y para ello expongamos un ejemplo claro de nuestro modelo: el paño de azulejos del lateral izquierdo de la fachada sur, que muestra junto a la imposta de la puerta un abombamiento considerable.

Procedimos en primer lugar a insertar en el modelo los muros que cierran la sala en el piso planta baja, con un espesor constante de 65 cm. Para su cara externa le adosamos posteriormente una placa realizada con *Forma*, con unas dimensiones en anchura y altura marcadas por el límite de sus cenefas perimetrales, y un espesor de un cm (el procedimiento se repitió para los demás

paños de alicatados, revistiendo todo el muro por su exterior). La otra opción hubiese sido convertir el muro (realizado con la herramienta *Muro)* en un nuevo elemento Forma. De este modo podremos manipular cada una de sus caras para adaptarse a las geometrías reales y acoplarles diversas texturas, ahorrándonos un forrado con una nueva lámina exterior.

Una vez mapeada la superficie visible del elemento con función de revestimiento, es decir, con la ortofoto ajustada según hemos expuesto en los apartados anteriores, pasamos a deformar su cara externa para ajustarse a las irregularidades que presentaba realmente el revestimiento de ese muro. Sólo nos faltaba tener unos puntos de referencia, con coordenadas en el espacio que fuesen fiables para un ajuste preciso. Éstos podrían ser los puntos de la nube proporcionados por el escáner, o directamente la malla triangulada en base a la anterior información, e insertada en el propio modelo BIM.

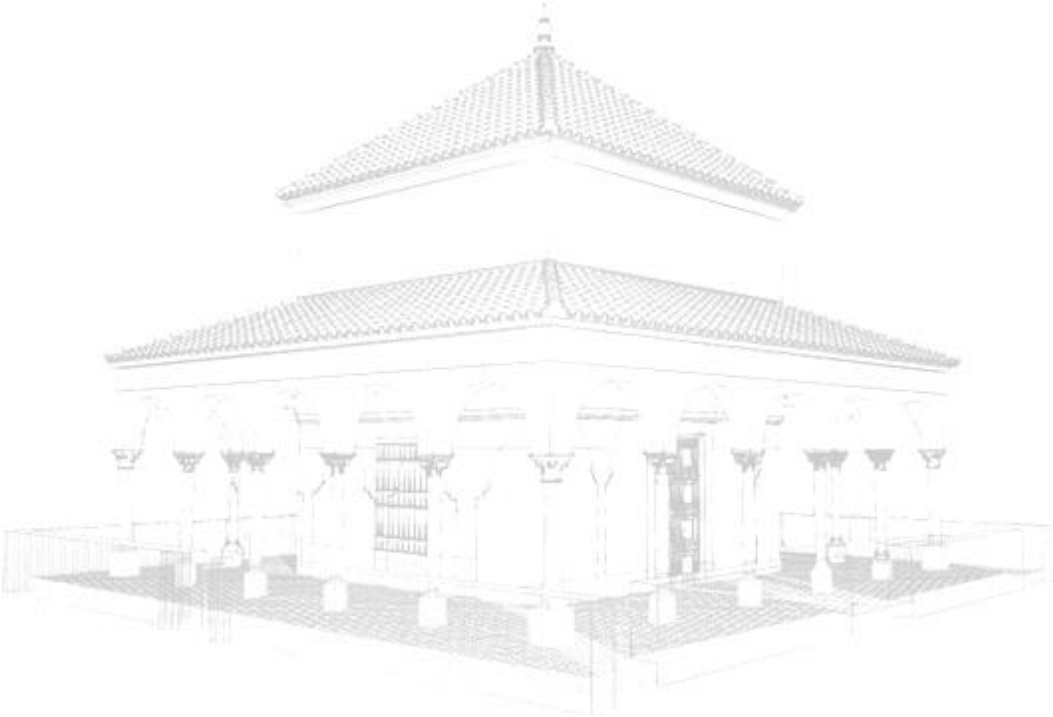


Fig. 303. Imagen del sector con abombamiento de la fachada Sur. La paleta de modificación de la herramienta Forma nos permite deformar la cara del elemento para adaptarnos al abombamiento.

8.4.5. El mapeado de las carpinterías

Otra de las manipulaciones de imágenes realizadas para el mapeado de las superficies de los elementos del modelo han sido sus carpinterías de madera. Esta opción la hemos tomado para una perfecta visualización de sus características formales al poseer unos altos valores artísticos, destacando así los tallados incluidos en el interior de los cuarterones de las hojas, tres para las ventanas y cuatro en la puerta de acceso. Pero como veremos en el apartado siguiente, además es un complemento al modelado de pequeñas piezas arquitectónicas.

Hemos efectuado una manipulación de las imágenes tomadas sobre cada ventana y puerta por sus dos caras para crear ortoimágenes que nos han servido como mapas de texturas. Posteriormente hemos creado una *superficie*[185] exclusiva para la ventana y la puerta, una para su interior y otra para el exterior de cada hoja, que se han incluido en la biblioteca de superficies de ArchiCAD para disponer de ellos cuando sean asociados a las superficies del elemento.

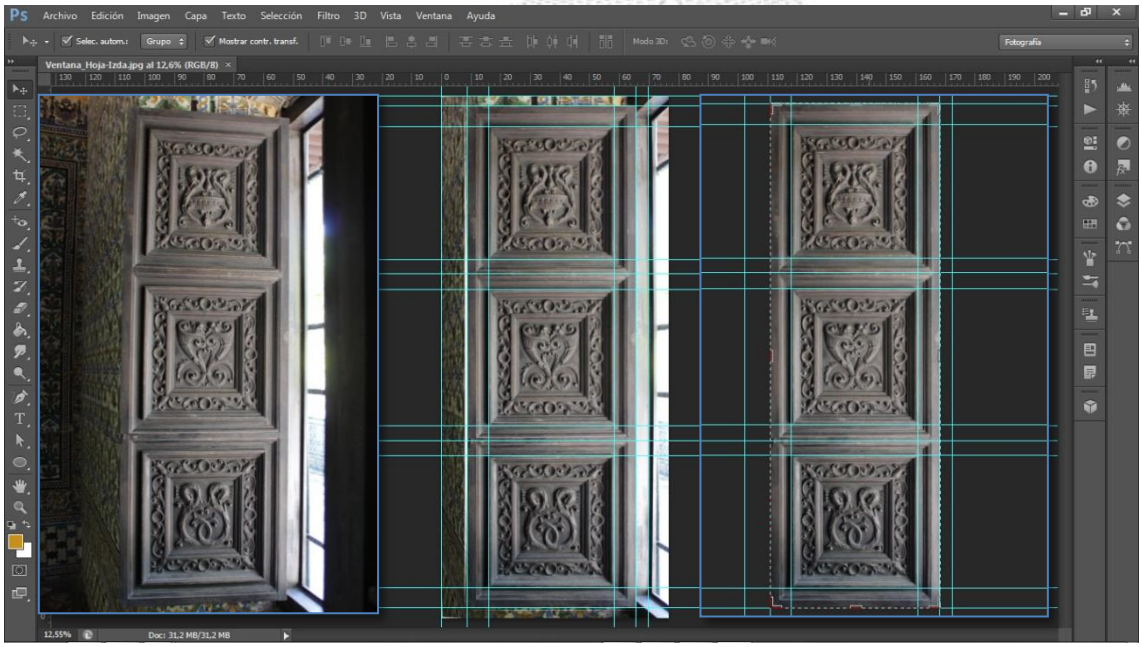


Fig. 304. Manipulación de la imagen y su conversión a ortofotografías para la obtención del mapa de la cara exterior de la Ventana Norte.

Ahora, cuando estemos explorando el modelo BIM podremos capturar medidas sobre los detalles de las carpinterías tomadas directamente de los elementos del modelo, en tiempo real y en cualquier vista, sea frontal o en perspectiva.

[185] Éstas eran reconocidas como Materiales en la versión 16 y anteriores de ArchiCAD. Con la nueva versión 17 se introduce una nueva Biblioteca de Materiales de Construcción adaptada a las exigencias de eficiencia en la edificación. Ahora, cada Material de Construcción actúa como un nuevo "superatributo" que incorpora trama de corte, superficie de mapeado y propiedades físicas (conductividad térmica, densidad y capacidad calorífica).

8.4.6. El mapeado en el estudio paramental de muros

Para el estudio paramental de muros, suelos y techos siguiendo la metodología de la arqueología de la arquitectura, hemos tomado como modelo el edificio anexo a la antigua Fábrica de Tabacos y ahora sede de la Universidad de Sevilla, que cumplía funciones de Cárcel. Ya comentamos que el mismo fue elegido como modelo de experimentación BIM para el trabajo fin de máster en Arquitectura y Patrimonio Arquitectónico (marph). Al disponer de una rica información gráfica y de datos del edificio, y aprovechando que recientemente ha sido intervenido puntualmente en los muros exteriores y de manera urgente por desprendimientos de algunos revestimientos, hemos continuado con la investigación iniciada años atrás.

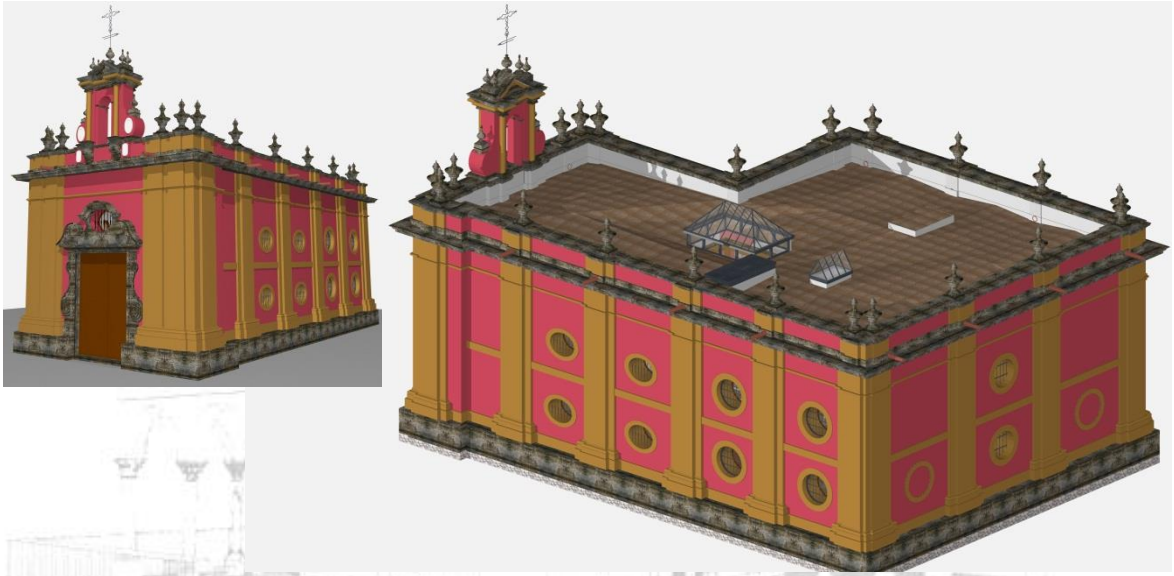


Fig. 305. a) Vista sureste de la Cárcel de la Real Fábrica de Tabacos de Sevilla. b) Axonometría Isométrica noreste. Modelo BIM realizado con ArchiCAD. Elaboración propia. Marph 2010.

Valiéndonos del picado de ciertos lienzos, se tomaron fotografías in situ para que sirviesen de base a un estudio paramental, que profundizara más en la construcción y evolución histórica del edificio (muy poco documentada según se indicaba en el mismo trabajo final del master)(Fig. 306).

Del mismo modo a como se ha procedido en los paños de azulejos del Cenador, las ortoimágenes son fundamentales para el mapeado de muros y forjados del modelo, introduciendo datos muy valiosos que serán utilizados por los especialistas como base documental para su estudio y análisis del paramento. Constituirán, por tanto, testimonios verdaderos de la evolución histórica y de las técnicas constructivas empleadas en el edificio.

Fig. 306. Picado del paramento con orientación este de la antigua Cárcel de la Real Fábrica de Tabacos. 2013

El procedimiento para tomar la imagen y las recomendaciones para su manipulación y conversión a ortoimagen no implica diferencias respecto al indicado en la rectificación de los paños de azulejos del Cenador, aunque habría que puntualizar que este tipo de trabajo fotográfico suele estar muy condicionado por las singularidades de las obras que dificultan la obtención de perspectivas despejadas. Es el caso de la imagen anterior, la única que pudimos obtener con una vista general del lienzo descubierto y que incluye los sistemas de andamiaje utilizados en las tareas de picado.

Y si bien la colocación de ortoimágenes por sectores identificadas en el modelo del proyecto HBIM también es la misma, hay una peculiaridad sustancial que provoca que la metodología utilizada sea diferente: el picado de revestimientos en muro, la sustracción de pavimentos y el desmontaje de falsos techos o artesonados son trabajos necesarios para realizar una labor de rehabilitación y de investigación, aunque temporales pues posteriormente hay que volverlos a tapar para recuperar el estado anterior.

Por tanto, es recomendable realizar fotos con alta resolución a paños o zonas delimitadas por bordes destacados, provenientes generalmente de impostas, cornisas u otras salientes. Estos elementos nos ayudarán posteriormente en una ortorestitución de la imagen al disponer de aristas que serán usadas como referencias para constituir los contornos y enfocadas a obtener un mayor detalle de los elementos integrantes en cada cata del paramento inspeccionado.

Fig. 307. Catas realizadas en la fachada este de la Cárcel de la RFT: a) Sillares de piedra caliza y arcadas cegadas con fábrica de ladrillo localizados en el primer paño; b) cegados de óculos en el tercer paño. 2013.

Deberemos incluir las imágenes captadas en las catas de la prospección al edificio en el modelo virtual levantado en base a las hipótesis tomadas en la fase de estudios previos, y disponer de una información más real de las técnicas constructivas y de su evolución en sucesivas etapas históricas. Para el caso del modelo de la Cárcel se eligieron los muros afectados de la fachada orientada al este para asociarles un nuevo material al núcleo, una vez restituidas las imágenes por sectores o catas.

Fig. 308. Imagen parcial del zócalo perimetral de la Cárcel de la RFT en su fachada este. Las fotografías se han tomado por sectores, de manera frontal y manteniendo las distancia constante al paramento. 2013.

El siguiente paso fue la vinculación de la imagen ortorectificada (mapa) a la textura de una nueva superficie de la biblioteca de ArchiCAD[186]. Al mapa se le atribuye unas dimensiones en ancho y alto en proporcion a las medidas reales, sin que se considere el método de simetría para la repetición en una matriz por ser única su implantación en el muro.

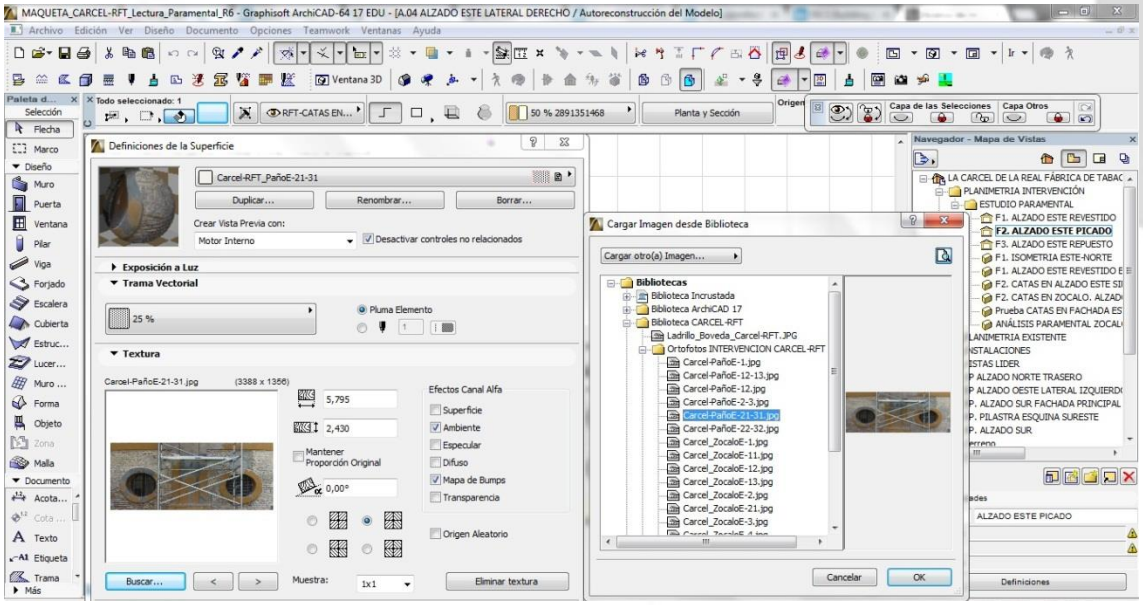


Fig. 309. Vinculación de la oto imagen a la textura de una nueva superficie de la biblioteca de ArchiCAD.

Este procediendo se repetió para cada una de las catas paramentales, llegándose a confeccionar una base de datos fotográficos y dimensionales que permitiera al arqueólogo un estudio estratigráfico preciso.

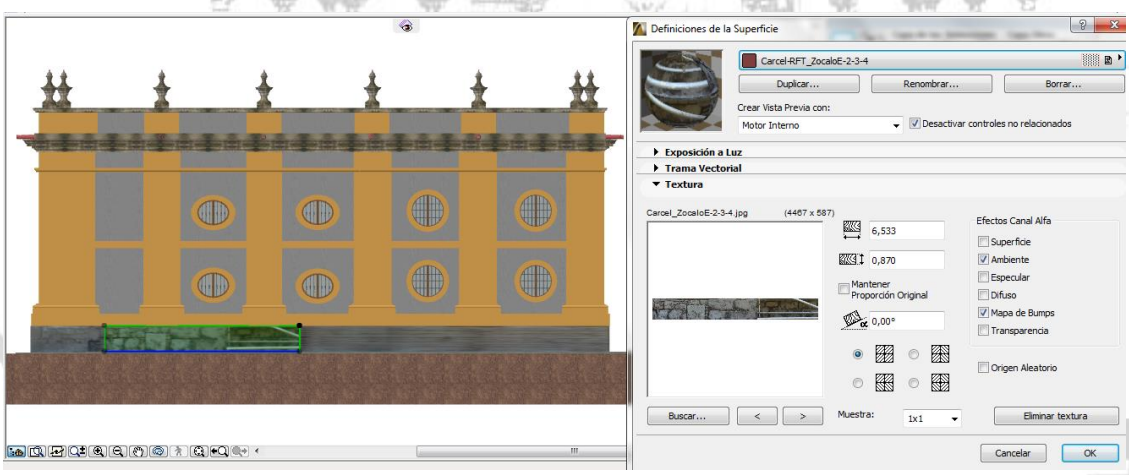


Fig. 310. Ventana de *Definiciones de la Superficie* del material para la cata del zócalo de la Cárcel de la RFT en su fachada este: *Carcel-RFT_ZocaloE-2-3-4*.

Antes de finalizar el procedimiento de mapeado, debemos comprobar el acople justo de las ortofotos en los paramentos inspeccionados. Para ello, llegamos a realizamos un alineado de la textura en el modelo tridimensional[187], definiendo el origen de coordenadas de cada mapa para ajustarse a las superficies de los muros.

[186] En las versiones anteriores de ArchiCAD 17, a la base de datos se le denominaba biblioteca de materiales.
[187] Aplicamos el asistente *Alinear Textura 3D* de ArchiCAD.

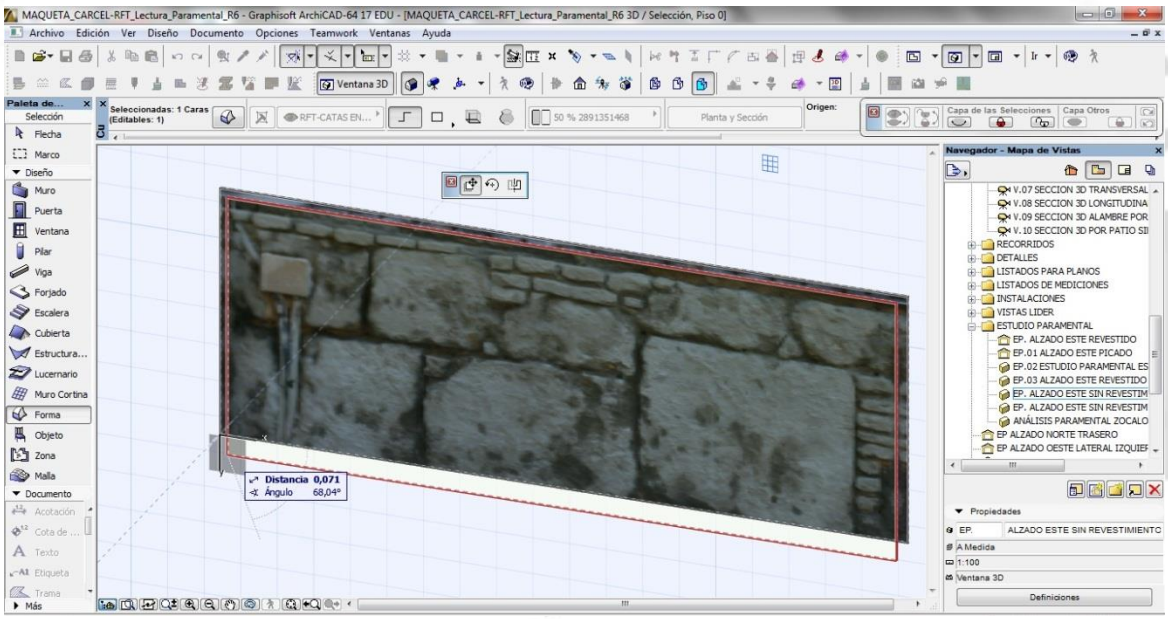


Fig. 311. Ajuste de la imagen restituida para una porción del zócalo de la facha este, realizada con el objeto *forma* de ArchiCAD (el marco rojo delimita las dimensiones del mapa).

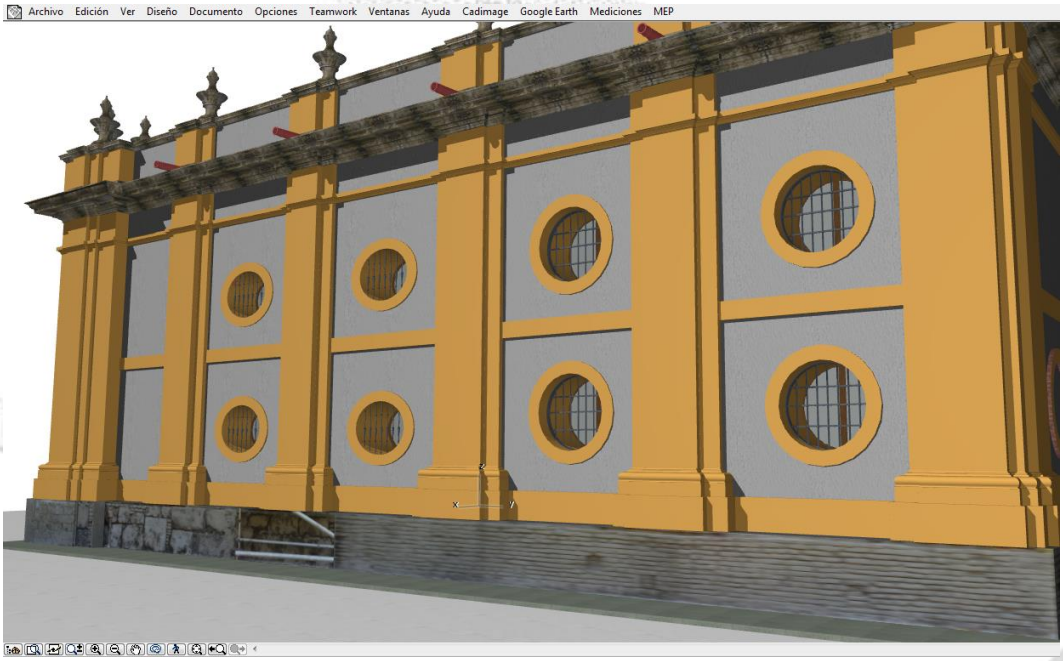


Fig. 312. Perspectiva de la fachada este de la Cárcel de la RFT con el zócalo mapeado por sectores.

8.5. El modelado de pequeñas piezas arquitectónicas

En la etapa de auscultación del patrimonio edificado, nos encontraremos por lo general piezas arquitectónicas, estatuas o representaciones escultóricas que deben ser clasificadas y documentadas debido a su valor excepcional, por ser provenientes de anteriores construcciones y que han sido recolocadas en la edificación analizada o por su particularidad arquitectónica: elementos destacables en el conjunto edificatorio, piezas inéditas o singulares que hacen preciso su correcta identificación. En casos de derrumbamientos por fenómenos naturales o por conflictos bélicos, un levantamiento exhaustivo de la pieza nos permitiría obtener un documento gráfico real que archivaríamos para utilizarlo en el caso de una posterior fase de reconstrucción, donde sería necesario una reproducción idéntica.

Pero para llegar a un modelado preciso y real de estos elementos utilizando las herramientas de diseño que dispone cualquier software de CAD o BIM habría que emprender una laborioso tarea antes de incorporarlos en el modelo virtual de información, conscientes de que nunca conseguiremos una reproducción exacta, y más cuando lo que intentamos es no falsear o simplificar información que nos puede ser útil en otras etapas.

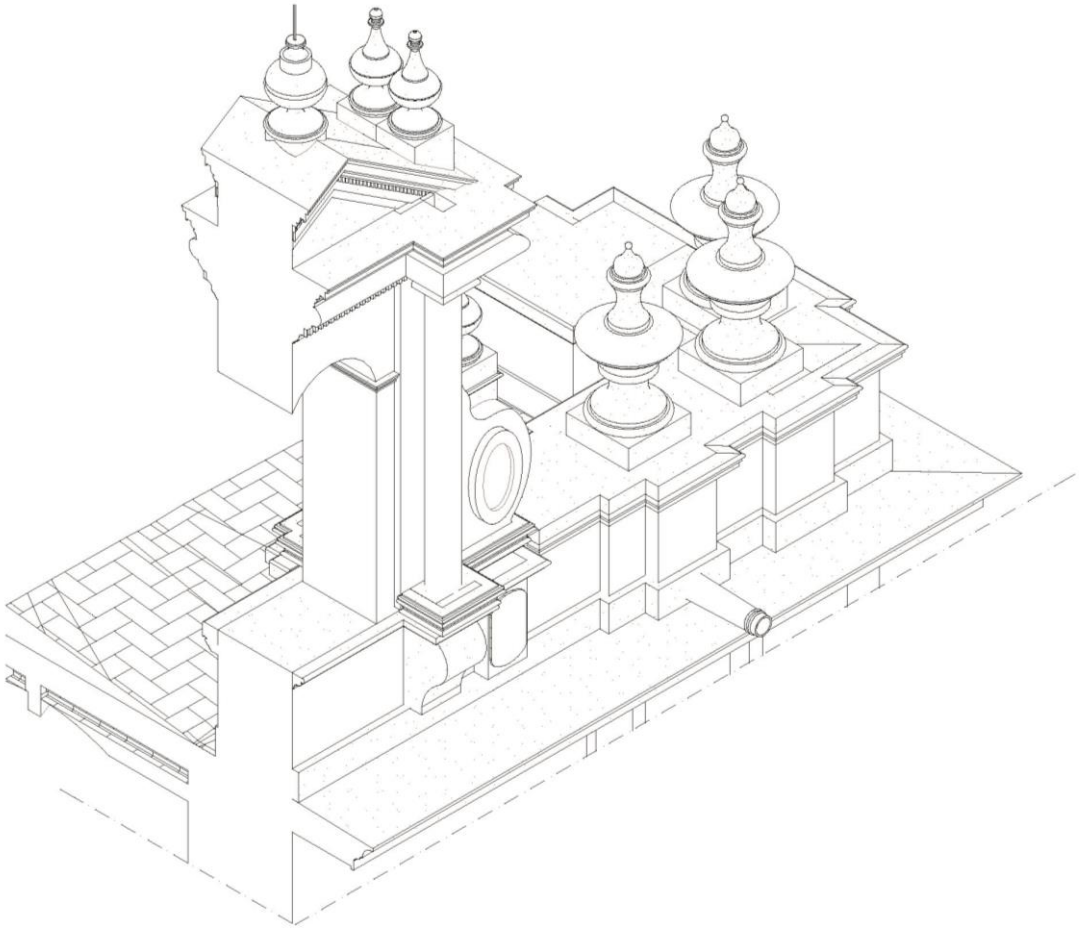


Fig. 313. Axonometría isométrica parcial de la fachada principal de la antigua Cárcel de la RFT de Sevilla. Elaborado con las herramientas de diseño de ArchiCAD. Fuente: Plano 35 del Máster *marph*, 2010. E. Nieto.

LO-01 LISTADO DE OBJETOS				
ID	JARRON ESPAD-2	JARRON ESPADAÑA	JARRON PRETIL	JARRON VELETA
Cantidad	2	4	21	1
Capa	REMATES	REMATES	REMATES	REMATES
Altura (Z Tama...	0,97	0,97	1,28	0,70
Longitud (A)	0,37	0,30	0,59	0,35
Ancho (B)	0,37	0,30	0,59	0,35
Volumen	0,10	0,18	2,31	0,03
Material	Pdr-Piedra Caliza	Pdr-Piedra Caliza	Pdr-Piedra Caliza	Pdr-Piedra Caliza
Símbolo 2D				
Vista Frontal 3D				
3D Vista later...				

Fig. 314. Listado de objetos arquitectónicos decorativos extraídos de la espadaña de la antigua Cárcel de la RFT de Sevilla. Fuente: Plano 42 del Trabajo Fin de Máster marph, 2010. E. Nieto.

El software ArchiCAD ha dispuesto desde versiones anteriores del plug-in *Objective*, que amplifica un modelado flexible de elementos arquitectónicos y decorativos. Nos facilita el cambio frecuente del sistema de coordenadas para desarrollar en un plano diferente un trabajo más fácil. En el modelo de la antigua Cárcel de la Real Fábrica de Tabacos se empleó en las molduras que rodeaban la puerta de acceso (Fig. 315).

Con el lanzamiento de la versión 16, ArchiCAD introduce capacidades de modelado directo en el sistema BIM nativo con su nueva herramienta Morph o Forma, que viene añadida como otro elemento más de diseño dentro de la paleta herramientas. La herramienta Forma es un recurso recomendable para la creación de componentes BIM, estructuras y elementos personalizados del entorno construido, así como el diseño caracterizado del interior de los edificios, pues dispone de una flexibilidad de modelado extraordinario, facilitando la creación de cualquier elemento de geometría personalizada de una manera gráfica e intuitiva[188].

[188] http://www.graphisoft.es/producto/ac/design.html. Página web consultada el16-04-2013.

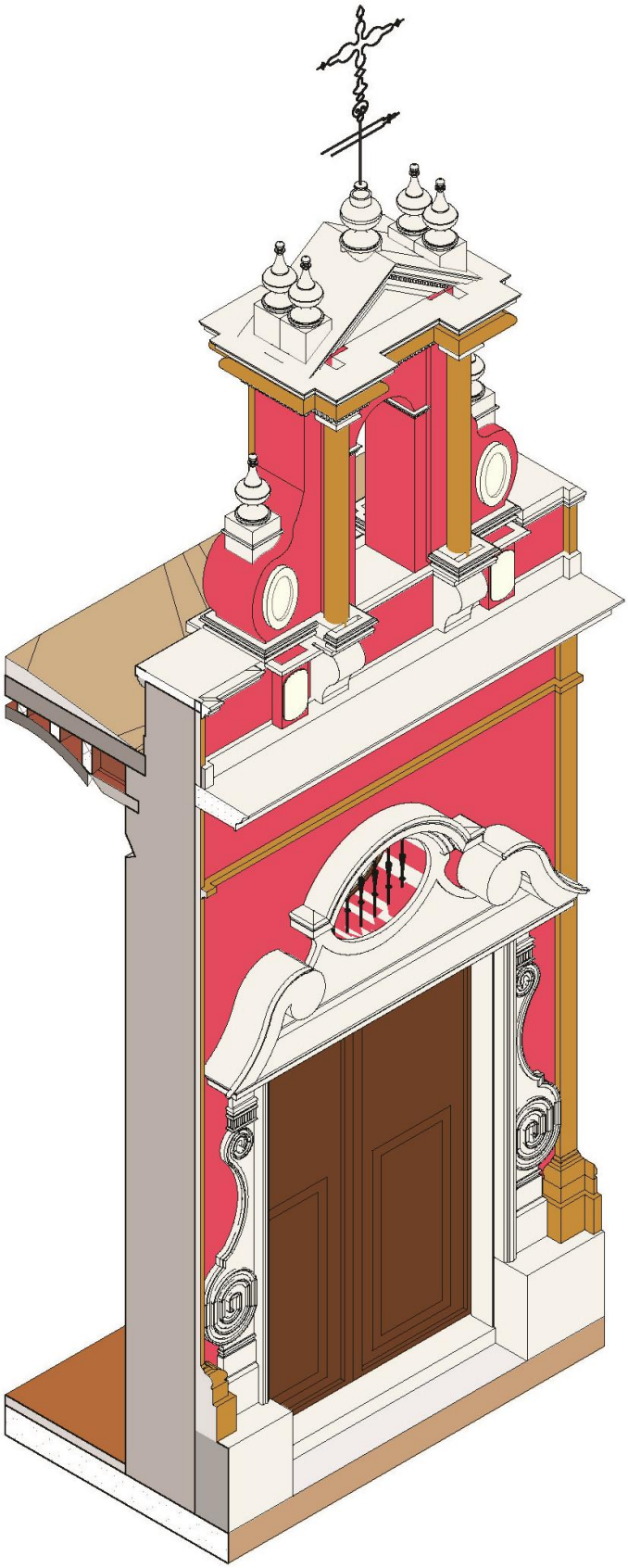


Fig. 315. Sección 3D de la Espadaña de la Fachada principal de la antigua Cárcel de la RFT de Sevilla. Fuente: Plano 34 del Trabajo Fin de Máster *marph*, 2010. E. Nieto.

Como una siguiente etapa de nuestra experimentación con los modelos gráficos y de información, pretendemos en este apartado de la tesis exponer la nueva sistemática seguida para el modelado de algunos elementos arquitectónicos contenidos en el Cenador de Carlos V, que fueron elegidos por su relevancia en el conjunto arquitectónico, queriendo que su reproducción fuese la más fiel a su estado actual antes de ser incorporados en el proyecto HBIM: el capitel análogo de las cuatro esquinas, los capiteles de las dieciséis columnas centrales por sus motivos disímiles, las tallas que incorporan las hojas de la puerta y las tres ventanas (Fig. 316), y las yeserías que rematan a modo de faja los cuatro costados alicatados del exterior.

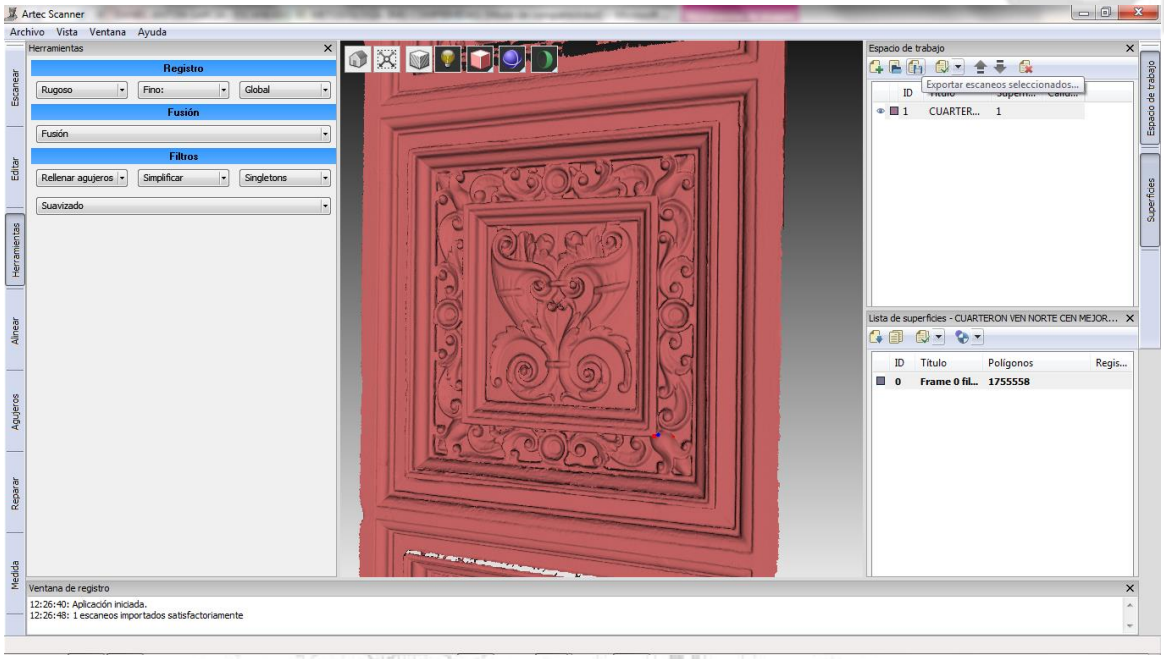


Fig. 316. Escaneado del cuarterón central de una hoja de ventana del Cenador de Carlos V. Realizado con el escáner portátil Artec 3D.

En nuestro modelo patrimonial de trabajo se aplicaron las herramientas de diseño o construcción habituales (*forjado, muro, pilares, vigas)* cuando los elementos a representar disponían de formas poligonales sencillas y constantes, empleándose la herramienta *perfil* para confeccionar secciones complejas que nos servirían para asociarlas a las vigas y muros, y obtener por extrusión todas las impostas, cornisas y remates de paramentos y cubiertas. En cambio, para los elementos decorativos característicos de un estilo arquitectónico y, por lo general, exclusivo del edificio analizado no era procedente utilizar las herramientas de construcción básicas. Y aunque apostáramos por elegir las más flexibles (como es el caso de la herramienta *forma*, muy eficaz en el proceso de modelado), no resolvía el verdadero problema de la toma precisa de datos dimensionales de los elementos que incorporan motivos inconstantes o imprevisibles para su posterior traslado a la pieza modelada.

Este es el caso de los elementos florales o volutas que incorporan los capiteles de mármol de las dieciséis columnas centrales que cierran las cuatro logias del Cenador de la Alcoba (las cuatro de esquina si son idénticas), y que fueron talladas con motivos corintios distintos (Fig. 317).

Fig. 317. a) Capitel de la columna central nº 4. b) Capitel de la columna de esquina S-O nº 6. Cenador de Carlos V. Real Alcázar de Sevilla.

8.5.1. La idoneidad del uso del escáner

Tanto la fotogrametría como recientemente las técnicas de escaneado en 3D son útiles para la captura con precisión de la información geométrica "as-built" y su incorporación a una aplicación informática específica para su posterior tratamiento digital. Una vez procesados los datos geométricos, podremos visualizar el objeto e interactuar con el modelo 3D para realizar operaciones de medición, seccionar, analizar a la distancia deseada, con la otra ventaja de tenerlo registrado para otras fases de investigación.

Lo que el escáner nos proporciona es una información de puntos con un color dentro de la gama RGB y sus coordenadas en el espacio 3D. En otras palabras, sería una fotografía tridimensional que la constituye un conjunto de puntos o pixeles con valores X, Y, Z. Pero ahora nos encontramos con una gran información de coordenadas espaciales que no es manipulable por las aplicaciones de CAD/BIM, no teniendo más remedio que convertirlos a una superficie.

En una primera fase, a modo de iniciación y a la vez de experimentación con las nuevas herramientas de escaneado, empleamos el escáner óptico 3D de Artec modelo MHT. Sin descartar que posteriormente se complementara con la técnica fotogramétrica, el software que incorpora el escáner portátil 3D nos facilita esa tarea de procesamiento de la nueve de puntos y su conversión en una malla poligonal manipulable en un programa de CAD/BIM. Por tanto, eiiiste equipo portátil cubriría las funciones de toma de medidas, procesamiento de datos capturaros "in situ" y la posterior confección del modelo.

8.5.2. Procesamiento de la información del escaneado de piezas

Se ha procedido por lo general a realizar el escaneado de los capiteles en un barrido que ha cubierto los 360º debido a que las dimensiones de las piezas lo permitían. Esto nos ha llevado a reducir el tiempo de procesado al ser un único barrido por capitel. Finalizadas cada sesión se pasó a la reconstrucción del modelo 3D usando las funciones de la aplicación del escáner 3D Artec, quedando distribuida en las siguientes etapas:

1. Revisión y edición de los escaneos.
2. Alineamiento de los mismos.
3. Optimización global de los escaneos.
4. Fusión de datos en un único modelo 3D.
5. Edición final del modelo 3D.

Pasemos ahora a explicar el procedimiento seguido por cada una de ellas.

8.5.2.1. Revisión de los escaneos

Cada escaneo consiste en una combinación de fotogramas capturados en el proceso de escaneado continuo. Todos los fotogramas incluidos en el escaneo se solapan en una secuencia mostrada en el panel de superficies, permitiendo el software ver el escaneo completo en la ventana de vista 3D.

Una vez finalizada cada sesión con el escáner portátil Artec se procedió a realizar una inspección visual de los fotogramas escaneados con el post-proceso del escaneo, consistente en borrar los no deseados, separar las áreas mal alineadas y dejar fuera de la escena los objetos no deseados y no rígidos (Fig. 318.a). Como los datos obtenidos después del escaneo suelen estar toscamente alineados, comenzamos aplicando el algoritmo de *Fino* alineamiento de los fotogramas, para determinar qué datos son buenos o malos[189] (Fig. 318.b).

Los problemas habituales con los que nos podemos encontrar son:

- *Mal alineamiento de unos fotogramas* con respecto a otros debido a la ausencia de características geométricas en el objeto (de tamaño pequeño o en un número insuficiente).
- *Fotogramas individuales sobresalen del total* de la formación de los datos alineados. Causado en la mayoría de las ocasiones por el gran número de polígonos en los fotogramas capturados.
- *Partes desalineadas.* El algoritmo de alineamiento trabaja en tiempo real determinando de forma incorrecta la posición de varios de los nuevos fotogramas relativos a los previos.

[189] Todos los datos escaneados están subordinados a un alineamiento brusco en el proceso de escaneado, permitiendo al operario ver qué áreas del objeto han sido escaneadas correctamente y cuáles no, sin implicar un gran gasto de la capacidad del procesador. Aunque este primer alineamiento de los fotogramas dentro de los escaneos es insuficiente para producir un modelo de calidad, siendo necesario iniciar un posterior proceso de alineamiento fino.

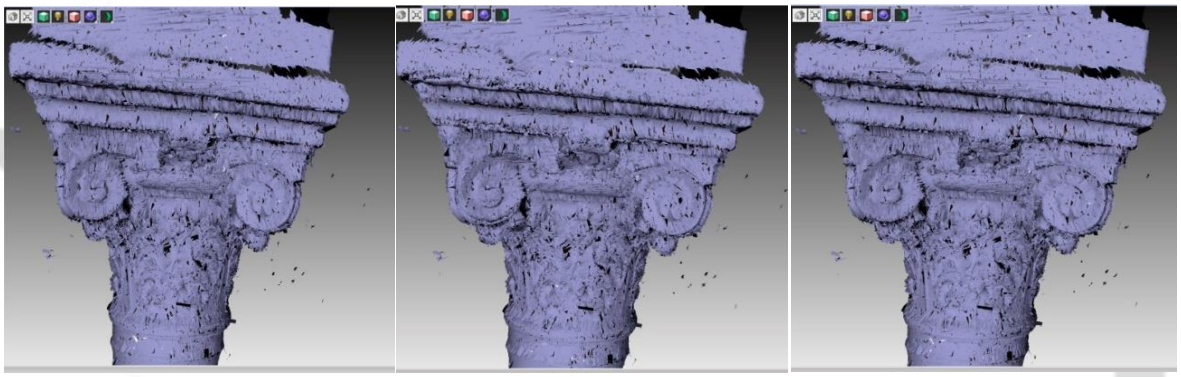


Fig. 318. Proceso de Registro, 1ª Fase: a) escaneado original del capitel sin filtrar; b) registro de la información por el método Fino; c) registro por el método Global.

8.5.2.2. Proceso de edición

La etapa de *Edición* queda reservada para eliminar los objetos no deseados que han quedado en el campo de visión del escáner y son escaneados - las manos del operario, paredes, la superficie donde se ha escaneado el objeto se ha superpuesto, o el fondo del escaneado ha cambiado. Este problema no se nos dio habitualmente en nuestras sesiones de campo, utilizando solamente la herramienta borrador en áreas muy determinadas.

Aunque habría que mencionar algunos problemas en el inicio de las sesiones, que nos obligó reiniciar la aplicación en varias ocasiones después de que el barrido se quebraba frecuentemente. Estas complicaciones se subsanaron finalmente cuando pudimos comprobar que era motivado por la incidencia de la luz directa del sol que entraba en la zona de afección del escáner, cuando el proceso de calibración se había realizado con unas condiciones lumínicas al norte (Fig. 319).

Fig. 319. Proceso de calibración del escáner 3D Artec. Se realizó en una zona con las mismas condiciones lumínicas que las existentes en el lugar de los escaneos dentro del Cenador de Carlos V.

Definitivamente las sesiones en la zona este y sur del Cenador de Carlos V se realizaron a primeras horas de la mañana y antes de la incidencia de los rayos de sol sobre los elementos elegidos, desplazándonos al norte y oeste en las horas posteriores al medio día.

8.5.2.3. Alineamiento

Una vez finalizada la etapa de revisión y edición, hay que seleccionar las sesiones realizadas sobre el objeto escaneado para proceder a su alineamiento, fusionándolos en un mismo sistema de coordenadas. La función del operario será arrastrar todos los escaneos al registrado y ensamblar el modelo.

El alineamiento fue necesario e imprescindible sobre el primer capitel escaneado de la fachada norte (identificado con el nº 12), que se distribuyó en cuatro sesiones. Para el resto de los capiteles se procedió a un único barrido en un tiempo no muy superior a los tres minutos, por lo cual no fue necesario proceder a un acoplamiento del escaneo[190].

Como complemento, el empleo de la función *Alinear* ha sido fundamental para recolocar el modelo en el espacio, con la edición de los ejes de coordenadas de los objetos escaneados previa a la exportación a formatos 3D de otro software[191]. Para conseguir que el capitel se posicionara en el sistema de coordenadas deseado activamos la herramienta de *Posicionamiento de superficies* y posteriormente marcamos tres puntos en el modelo para colocar el nuevo plano de referencia XOY (Fig. 320).

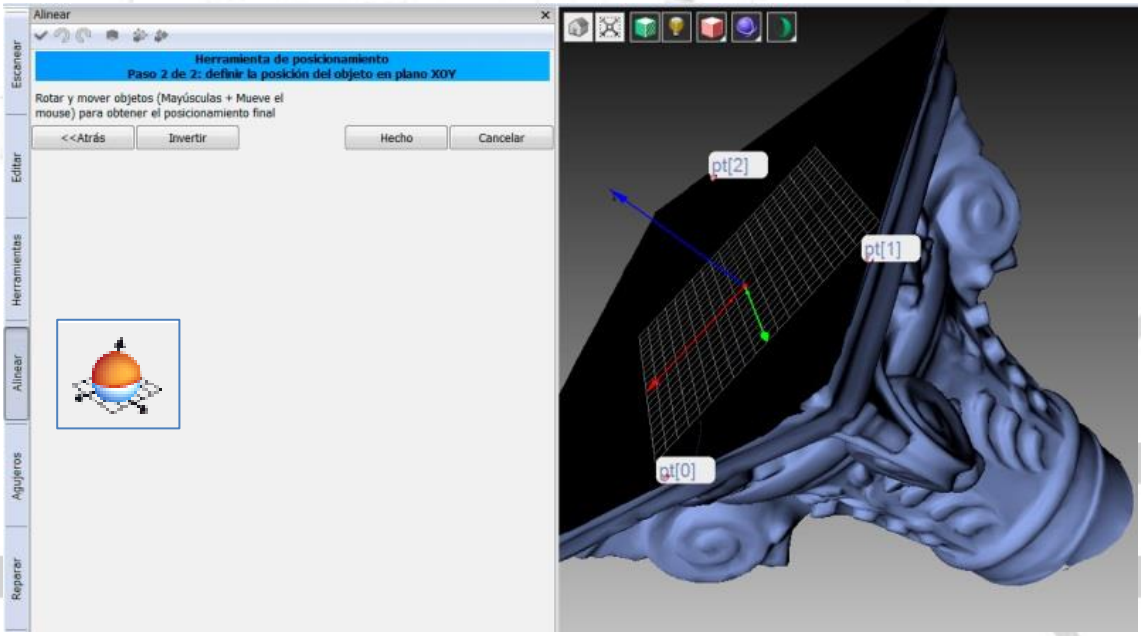


Fig. 320. Posicionamiento de una superficie del capitel escaneado a un nuevo plano de coordenadas XOY.

[190] Durante la operación de acoplamiento los escaneos seleccionados se dividirán en dos grupos: un grupo de escaneos alineados y otro de no alineados. El primer grupo en su principio contiene solo un escaneo -el primero de la lista-. Los nombres de los escaneos que han sido alineados aparecerán resaltados en negrita, y el proceso de escaneado se verá en la ventana de vista 3D coloreados en azul. La posición relativa de los escaneos registrados no cambiara y estos serán vistos simultáneamente sin errores.

[191] El escaneo puede ser guardado en los formatos scan, ply, obj, stl y wrl. El modelo final puede ser exportado en los formatos ply, obj, wrl, stl, asc.

8.5.2.4. Optimización global

Finalizada el alineamiento de los escaneos, se procedió a la fase de optimización global de la posición de los fotogramas. El algoritmo incluido en la optimización selecciona un grupo de puntos geométricos de cada fotograma y, comparando estos grupos a lo largo de los diferentes fotogramas, se obtiene información sobre las posiciones relativas de cada par de fotogramas. Se produce de este modo un acoplamiento de todos los fotogramas en un sistema de coordenadas global corrigiendo los errores y fallos previos de alineación[192](Fig. 318.c).

8.5.2.5. Fusión del modelo

Esta etapa es primordial para la creación de un único modelo poligonal 3D de los escaneos procesados y alineados. El software Artec dispone en las Herramientas de la pestaña *Fusión* que hará trabajar al algoritmo para pos-procesar un mejorado modelo 3D.

Habrá que establecer un valor para el parámetro *resolución* del tamaño de la rejilla de triangulación (en mm), que variará en función del volumen a escanear:

- Para un escaneo tipo S: el valor recomendado es de 0.3, pero no menos que 0.1.
- Para un escaneo tipo M: el valor recomendado es de 1, pero no menos de 0.4.
- Para un escaneo tipo L: el valor recomendado es de 1-2, pero no menos de 0.5.

Por las dimensiones de los capiteles, no superando los 40 cm en ninguna de sus tres planos fundamentales, establecimos que podían asemejarse a un tamaño tipo M (Fig. 321.a).

Fig. 321. Proceso de Fusión y Filtrado, 2ª Fase: a) método de Fusión para el pos-procesado del modelo 3D; b) filtrado para Rellenar Agujeros; c) Filtrado por el método Singletons después de rellenar agujeros.

[192] Este algoritmo es un recurso intenso. En caso de tener un gran volumen de datos (fotogramas), el proceso puede tardar un largo tiempo y grandes cantidades de memoria. Pero en muchos casos, la optimización global hace posible una mejora considerable del resultado.

8.5.2.6. Edición final del modelo

Finalizada la fusión, hay que inspeccionar el modelo 3D para detectar posibles defectos y eliminarlos. Los más habituales incluyen el ruido por las posiciones inapropiadas del escáner durante la secuencia de captura, los agujeros en la superficie sólida del modelo, pequeños objetos unidos al modelo, defectos en la superficie, etc. Los defectos deberán ser eliminados usando los algoritmos y las herramientas interactivas del software, aunque mucho de estos errores pueden ser evitados en el proceso de captura:

- *Baja amplitud de ruido* debido a que el área afectada tiene un número reducido de fotogramas. Para resolverlo normalmente hay que incrementar el ratio de captura o reducir la velocidad a la que el escáner se mueve alrededor del objeto. El número idóneo de fotogramas para prescindir del ruido dependerá de las propiedades reflectoras de la superficie del objeto.

- *Ruido intenso en los bordes*. Se evita capturando bordes con un ángulo de 90º.

- *Presencia de ruido* por un número insuficiente de ángulos del objeto capturado. Las áreas capturadas con un gran ángulo suelen tener más ruido que las áreas capturadas con un ángulo directo.

8.5.2.6.1. Filtro de imperfecciones

El uso de los filtros nos ha permitido limpiar el modelo fusionado de imperfecciones imprevistas, localizadas por distintas áreas en pequeños fragmentos unidos al modelo. El filtro eliminará las imperfecciones de forma efectiva, eligiendo el modo de operación en el algoritmo de filtrado:

- *Filtrado por umbral:* Todos los objetos de la escena más pequeños del tamaño especificado (el número de polígonos determinado por el parámetro de umbrales) serán borrados.

- *Dejar el objeto mayor*: Deja solo el objeto más grande en cada fotograma.

En las operaciones de edición de los elementos escaneados en el Cenador de Carlos V se procedió a la eliminación de todos los pequeños objetos capturados y resaltes no deseados aplicando el modo *Filtrado por umbral* del filtro Singletons (Fig. 322).

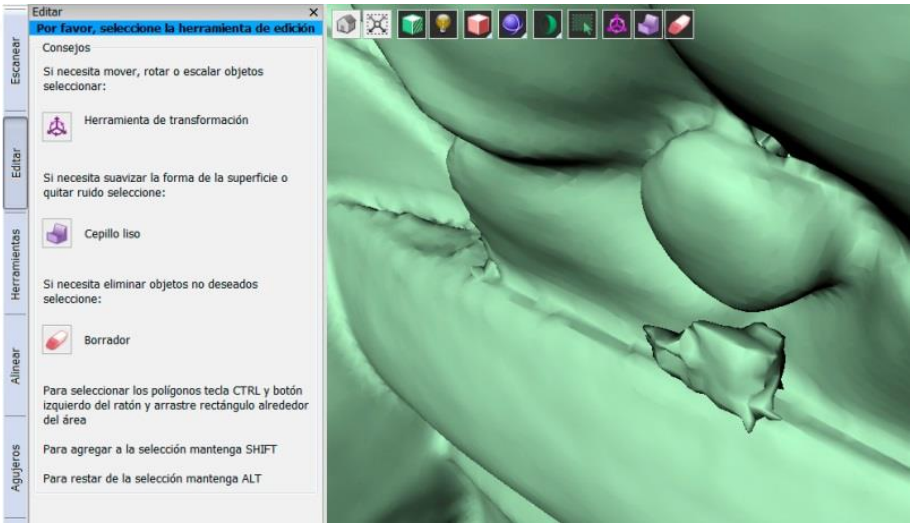


Fig. 322. Edición del modelo para eliminar los pequeños objetos no deseados. El método elegido para los elementos escaneados del Cenador de Carlos V ha sido el Filtrado por umbral del filtro *Singletons*.

8.5.2.6.2. Rellenador de agujeros

Debido a las peculiaridades de la geometría de los elementos escaneados (volutas y elementos florales en capiteles corintios, y los adornos rizados o entrelazados en las tallas de las hojas de ventanas y puerta), que imposibilitan la detección por el escáner de sus profundidades, se hizo necesario una operación de reparación de todas las zonas sin mallar con el rellenador de agujeros. La aplicación dispone en el panel de Herramientas de un algoritmo automático para rellenar agujeros, pero esta técnica sólo nos aportó algunas mejorías ya que los resultados seguían siendo poco satisfactorios. El siguiente proceso fue generalmente por un control directo sobre los agujeros incorporados en la lista para después ser rellenados modificando las características especiales de cada uno (Fig. 323).

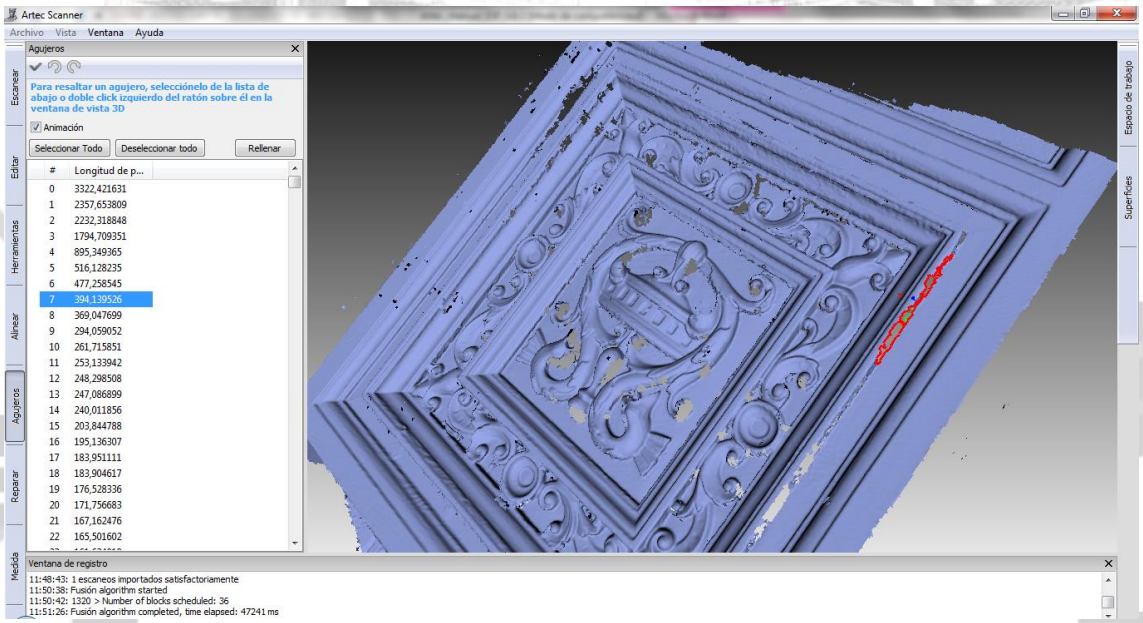


Fig. 323. Herramienta de rellenado de agujeros. Incorpora una lista de oquedades que permite una selección directa para visualizarlo en la ventana gráfica del software Artec Scanner y posteriormente ser reparados. Cuarterón superior de la hoja Izquierda de la ventana con orientación norte. Cenador de Carlos V.

De este modo, una vez seleccionadas las oquedades sobre los modelos escaneados (capiteles y hojas de las carpinterías) se procedió a su reparación, haciendo uso de la herramienta Rellenar Agujeros (Fig. 324).

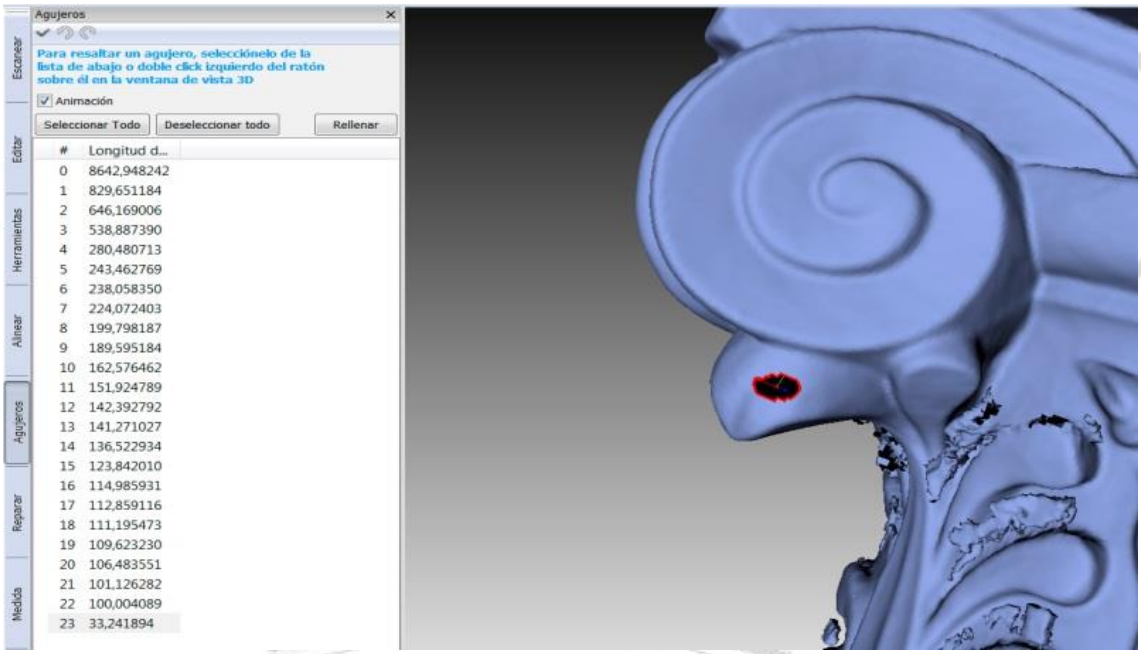


Fig. 324. Selección de agujeros para su posterior relleno de uno de los capiteles escaneados del Cenador de Carlos V.

Posteriormente fue necesario utilizar el algoritmo de alisado por el uso de la herramienta *cepillo liso* para retocados los bordes rugosos de algunos agujeros después de rellenos y alisar las rugosidades detectadas[193].

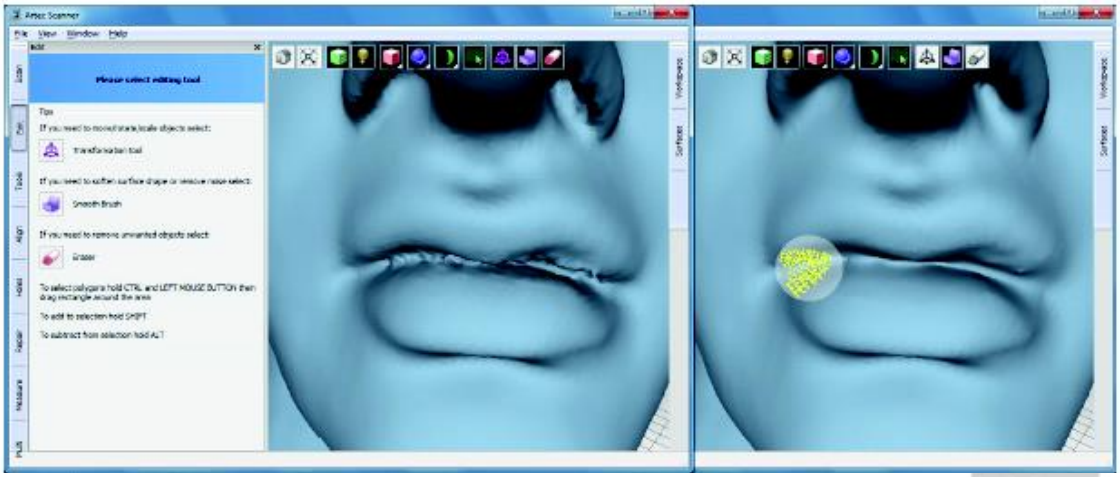


Fig. 325. Alisamiento de bordes y rugosidades en resaltes y profundidades con la herramienta cepillo liso: área mal capturada entre los labios. (Imagen tomada de la Guía de usuario del escáner Artec 3D V.0.6.Junio 2010).

[193] La eliminación de los agujeros se ejecutará en función de los parámetros siguientes (en milímetros):
- *Mínimo borde*: Longitud mínima del borde de los polígonos que son creados
- *Máx. Borde*: Longitud máxima del borde de los polígonos que son creados
- *Máx. Longitud agujero*: Longitud máxima del perímetro de los agujeros.

8.5.3. Simplificación del modelo

Es recomendable que después de aplicar el algoritmo de *fusión* se proceda a un *acoplamiento optimizado* de los polígonos estrechos, más cuando el número obtenido es muy denso y poco óptimo. De este modo evitaríamos que el tamaño del archivo se vuelva muy grande (Fig. 326).

Para las piezas escaneadas del Cenador utilizamos el algoritmo de acoplamiento optimizado para simplificar la cantidad de triángulos, limitando el parámetro *tri_num*, que define el número de polígonos deseados en el modelo final, en 10000 triángulos. El resultado fue óptimo para todas las piezas sin que la simplificación conllevara una pérdida de detalle y, por consiguiente, de información.

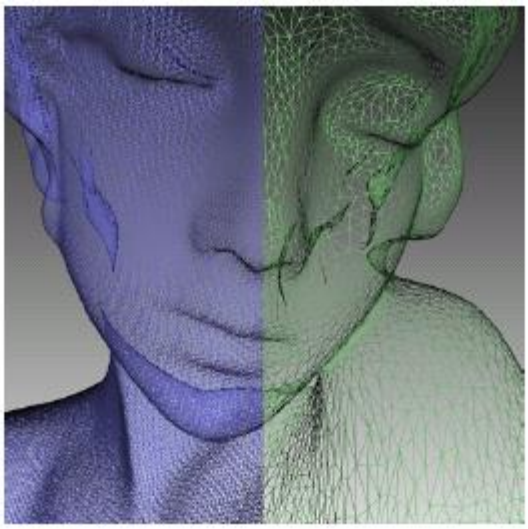


Fig. 326. Acoplamiento original en la izquierda, acoplamiento optimizado en la derecha (Imagen tomada de la Guía de usuario del escáner Artec 3D V.0.6.Junio 2010).

En la posterior fase de introducción de los objetos 3D finales en el modelo de información realizado con el software ArchiCAD, fue primordial la simplificación de los mismos antes de su conversión a objetos GDL (como explicaremos más detalladamente en el apartado 8.5.4. Generación de objetos paramétricos.

8.5.4. Operar con las piezas modeladas

Sólo comentar en este apartado que podremos siempre operar sobre la pieza escaneada para comprobar medidas de sectores y resaltes significativos. Esto es provechoso en la fase de procesado, como también muy productivo una vez que la malla esté cerrada y bien alisada[194]. En las imágenes siguientes (Fig. 327 y Fig. 328) se muestran como hemos capturado las dimensiones del marco incorporado en una hoja de la ventana de madera, y hemos obtenido longitudes entre puntos introducidos en el capitel en una vista 3D.

[194] Son varias las herramientas de medida en el software del escáner 3D Artec: Medición de líneas, Medida geodésica, Sección de planos y Distancia de superficies.

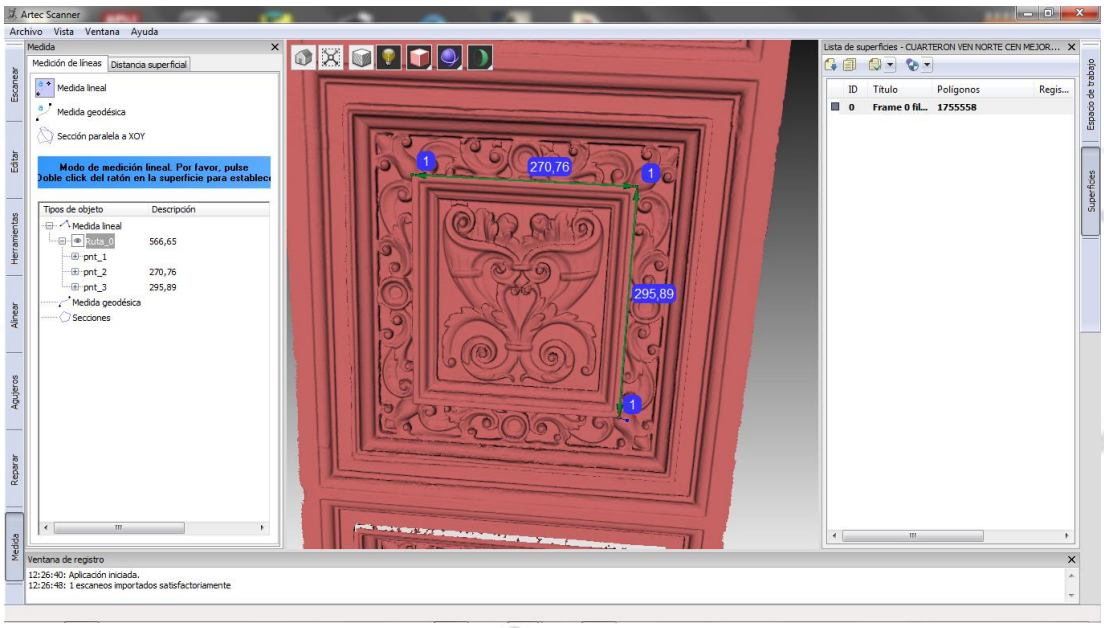


Fig. 327. Toma de medidas directas sobre el modelo reparado, libre de agujeros e imperfecciones. Cuarterón central de la hoja Izquierda de la ventana con orientación norte. Cenador de Carlos V.

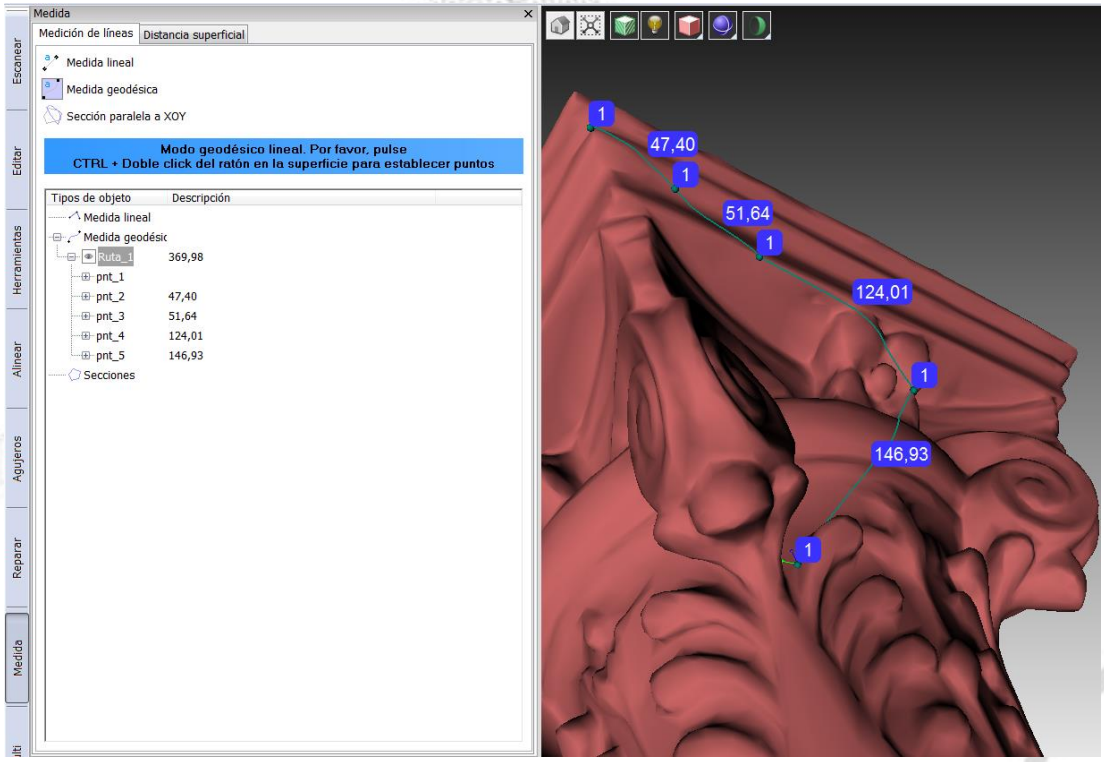


Fig. 328. Toma de distancias entre puntos y adheridas a la superficie del modelo. Capitel nº 4 del Cenador de Carlos V.

8.5.5. El modelo final texturizado

Si es necesario para los agentes intervinientes en el patrimonio arquitectónico y arqueológico un levantamiento preciso de sus elementos, no menos importante es la obtención de texturas fidedignas para un análisis completo y eficiente. Para disponer de una documentación verdaderamente científica ésta debe ser fiel al patrimonio real, por lo que debemos de procesar los modelos tridimensionales para asemejarlos al estado original encontrado en la toma de datos, sea por técnicas de escaneo o por fotogrametría. Los actuales equipos de

escaneado suelen incorpora una cámara fotográfica que nos permitirá escanear capturando la textura del objeto[195].

Las imágenes de los materiales obtenidas de los elementos escaneados se aplicaron a la malla empleando el método de texturizado por *mezcla de texturas de entrada in situ*. De este modo, el modelo tendrá tantas imágenes *.jpg* como el número individual de fotogramas adquiridos durante el escaneo. Si se hubiese utilizado el otro método de *generar mapa de triángulos,* toda la información de textura sería transferida en una imagen frontal convenida.

El modelo tridimensional resultante se muestra en la ventana de vista 3D con la textura aplicada, con la posibilidad de poder ser editado al modificar las variables del panel de Textura: Brillo, Saturación, Contraste, Corrección- Gamma. En la imagen siguiente se puede apreciar el texturizado del capitel nº 4, destacando una calidad realística superior que permite una exploración por el agente especialista muy eficaz desde su propio estudio y sin desplazarse al lugar (Fig. 329).

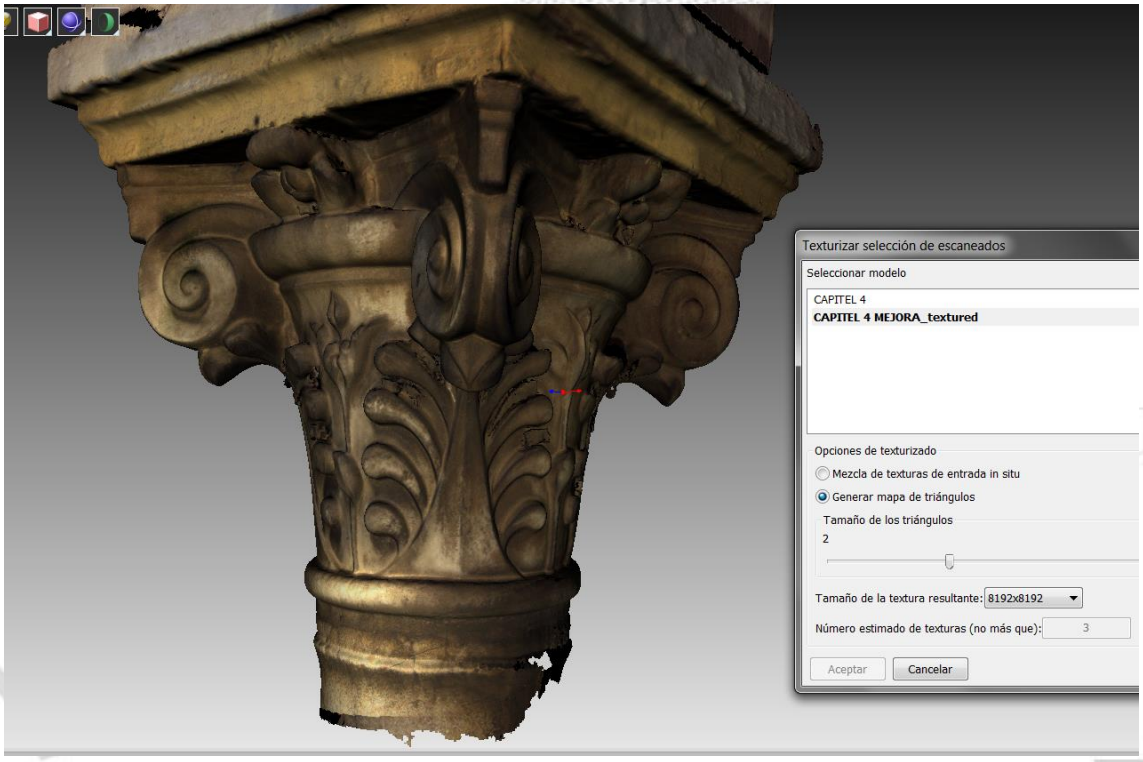


Fig. 329. Mapeado de la superficie del capitel nº 4, proveniente de las imágenes obtenidas por la cámara del escáner 3D. Resolución: 8192x8192 píx.

Es importante tener en cuenta en la producción de un modelo 3D con textura real que el escaneo original y el modelo resultante del posprocesado nunca se desplazarán, si lo cotejamos con otro modelo en 3D procedente de una manipulación usando las herramientas de corrección. La información de su posición relativa es usada por el algoritmo de texturizado para proyectar un único fotograma original en el modelo resultante.

[195] El software que gestiona el escaneado del modelo MHT del Artec 3D dispone de la pestaña Escanear textura, que cuando se acciona activa de forma periódica el flash para capturar la textura.

Para utilizar el modelo final en otras aplicaciones, se exportó utilizando el formato VRML.

8.5.6. El modelado fotogramétrico

Aunque los resultados obtenidos por el escáner portátil 3D de Artec fueron muy satisfactorios llegando a cotas de perfección inesperadas, quisimos paralelamente experimentar con las técnicas de modelado fotogramétrico y contrastar los resultados. Cuando presentamos en el capítulo 6 las aplicaciones y equipos adecuados para el desarrollo de nuestro trabajo se expuso la constante proliferación de aplicaciones de fotogrametría, sobre todo las monoscópica convergente. Son muchos las aplicaciones disponibles en el mercado, y asequibles por unos precios no muy elevados, que nos pueden proporcionar modelos tridimensionales texturizados sorprendentes.

En nuestro proceso utilizamos el software Agisoft *Photoscan* y el Autodesk *123D Catch*. Ambos lo aplicamos en algunos capiteles del Cenador de Carlos V para su modelado por técnica fotogramétrica: capiteles identificados en el modelo como Cap-2, Cap-15, Cap-17 y Cap-20.

Por los buenos resultados alzados, que exponemos en las próximas imágenes, refrendan en un principio que esta técnica es igual de válida que el escaneado, sea empleando un escáner óptico o de tecnología láser. Pero no deberíamos olvidar que nuestro fin es crear un modelo de geometrías precisas, más que una vestidura para la visualización y exploración del modelo virtual.

Las imágenes tomada por la cámara y aplicadas al modelo después de un procesado en el software pueden que nos oculte en ocasiones regularidades y huecos en las superficies malladas que soportan el mapa de texturas 3D, muy habitual cuando las condiciones dadas en las tomas fotográficas no han sido las más idóneas. Este caso se nos dio en el capitel 20 (Cap-20) que fue procesado desde dos aplicaciones: Agisoft Photoscan y Autodesk 123D Catch.

Fig. 330. Capitel 20 modelado por técnica fotogramétrica. a) Imagen Izda. Software empleado: Agisoft Photoscan. b) Imagen Derecha. Software empleado: Autodesk 123D Catch.

Si observamos la figura anterior veremos que ambos modelos pueden ser más o menos aceptables. Pero cuando el modelo fue insertado en el software Rapidform falto de texturas nos percatamos de muchas verrugas en sus mallas trianguladas (Fig. 332).

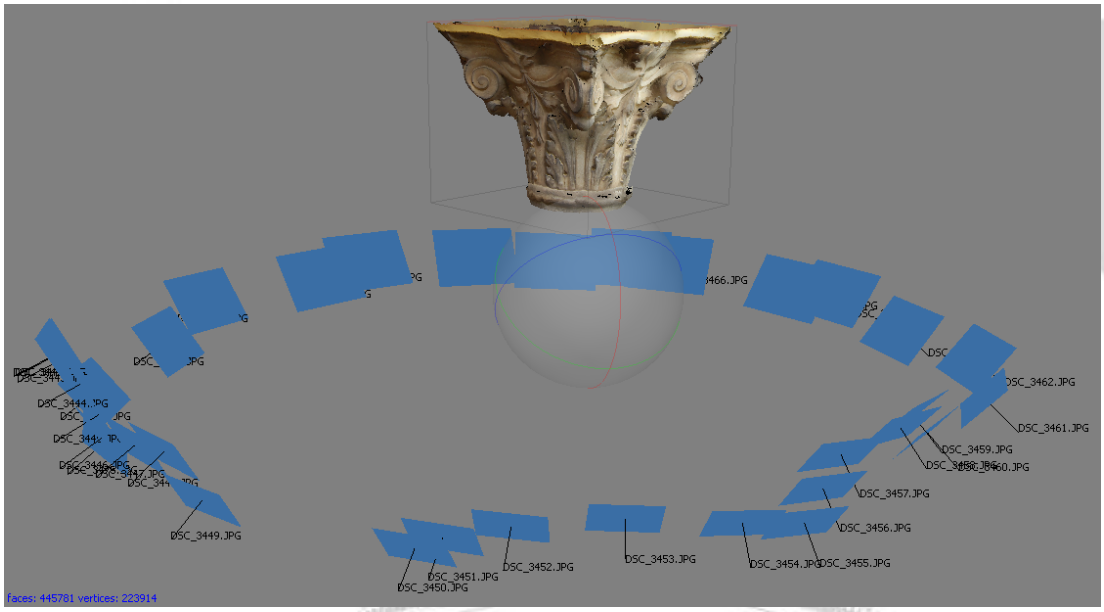


Fig. 331. Perspectiva del modelo 3D con la distribución de las fotografías tomadas sobre el capitel 20. Vista tomada desde el interfaz del Software Agisof PhotoScan.

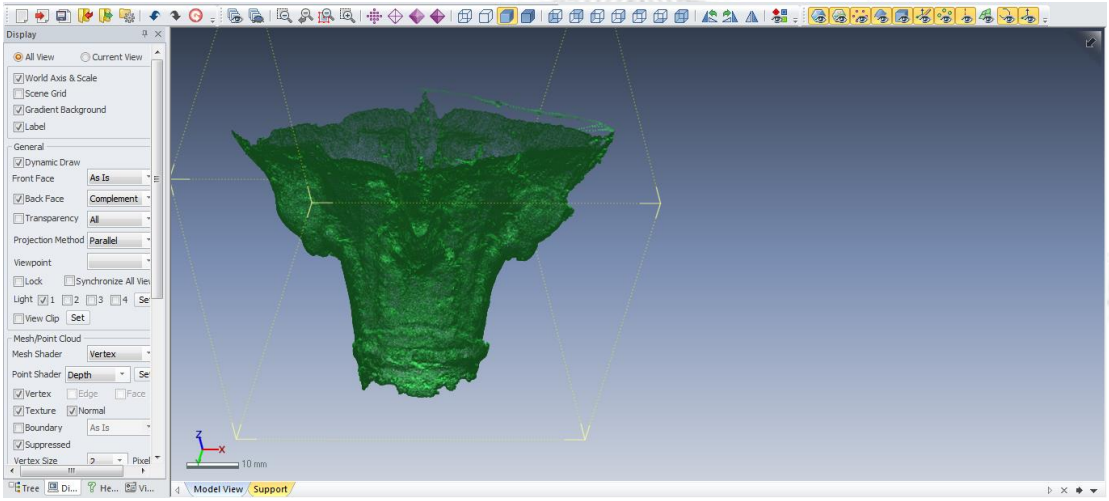


Fig. 332. Importación del modelo (Capitel 20) obtenido con Agisof Photoscan sin texturizar en el software Rapidform. Se observa que la rugosidad en las superficies es muy elevada al eliminarse las texturas.

Por tanto, también al aplicar la técnica fotogramétrica es necesario un postprocesado de la información como el expuesto para el escaneo. No queremos extendernos más en este campo, pues la metodología en la fotogrametría de objeto cercano precisa de menos restricciones, que son las básicas para la toma de una buena fotografía, que el número de fotogramas sea el idóneo para captar todo tipo de detalles (ondulaciones, quiebros,….) desde diferentes perspectivas, no incorporar elementos iguales y repetitivos dentro de la misma toma, controlar la entrada de luz (sombras arrojadas y reflejos) y evitar materiales reflectantes y vidrios[196].

[196] Acceso a vídeos con recomendaciones básicas para lograr resultados satisfactorios en el modelado fotogramétrico: http://www.123dapp.com/howto/catch (Última visita el 18/03/2014).

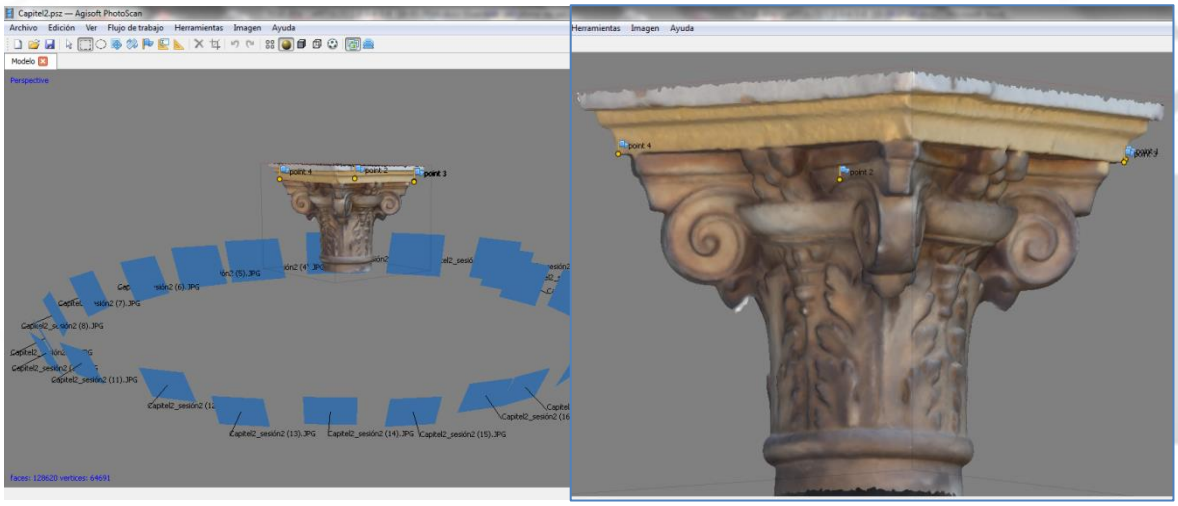


Fig. 333. a) Interfaz del Software fotogramétrico Agisof Photoscan, donde se visualizan las posiciones de la cámara alrededor del Capitel 2 en su recorrido fotográfico; b) Modelo texturizado del Capitel 2.

Fig. 334. Modelado fotogramétrico con el software 123D Catch: a) Vista del Capitel 15 con las posiciones de la cámara; b) Detalle del Capitel texturizado. Las vistas están sacadas desde 3dsMax después de su importación.

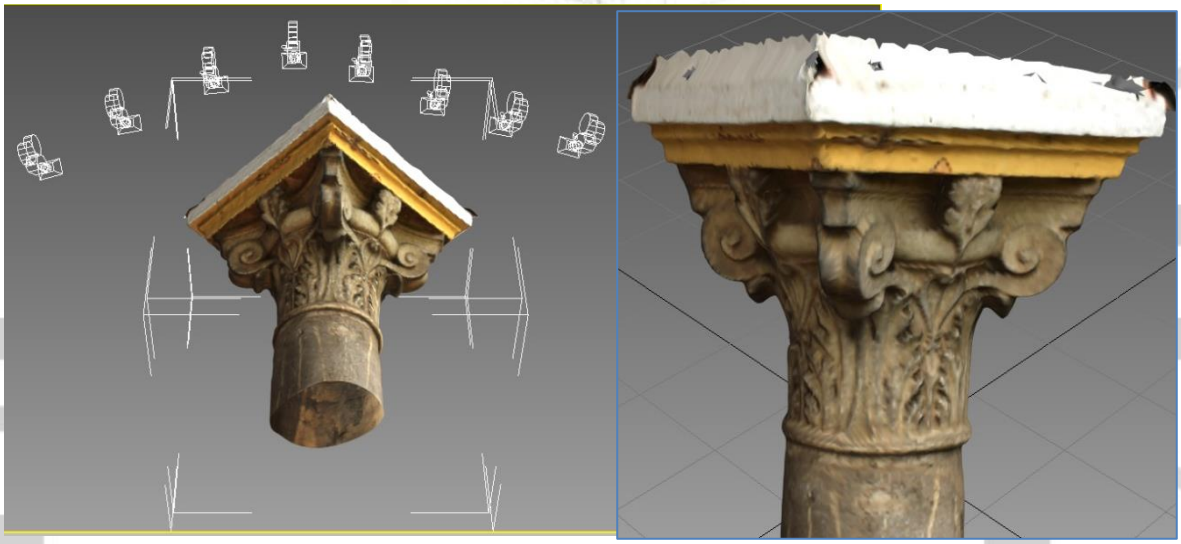


Fig. 335. Modelado fotogramétrico con el software 123D Catch: a) Vista del Capitel 17 con las posiciones de la cámara; b) Detalle del Modelo texturizado. Vistas obtenidas desde 3dsMax después de su importación.

8.6. Generación de objetos paramétricos

Hemos hablado de la obtención de pequeños objetos arquitectónicos tridimensionales utilizando las técnicas de escaneado 3D para su posterior inserción de un software de diseño gráfico. Pero la concepción que las nuevas aplicaciones BIM tienen de los objetos es diferente a las que tradicionalmente hacían las de CAD, pues aquí no se piensa en un "bloque dwg" que funcionaba como una entidad vectorial 2D o 3D asentada, sino que los nuevos objetos inteligentes o *paramétricos* nos permiten manipular sus propiedades dimensionales y físicas para adaptarlas a las particularidades del edificio. Es decir, que se puede configurar libremente la instancia ubicada sin realmente modificar el archivo origen para el objeto.

Los usuarios de aplicaciones BIM llevan mucho tiempo disfrutando de los beneficios de utilizar objetos GDL, con cientos de objetos inteligentes disponibles y utilizados en todo el mundo. La tecnología GDL (Lenguaje de Descripción Geométrica) de objetos paramétricos supone actualmente una forma nueva y eficaz para que los fabricantes de componentes constructivos comercialicen sus productos en "la nube" de Internet. La selección de componentes constructivos durante la fase de diseño, beneficia tanto al diseñador gráfico, que puede diseñar utilizando objetos del mundo real, como a los fabricantes de los componentes, que pueden proporcionar información del producto para que sirva de ayuda en el proceso de diseño[197].

En el campo patrimonial esto no es así, más que por una falta de interés del inversor a la escasa rentabilidad, por la dificultad de disponer de una biblioteca de objetos GDL que cubra la infinidad de soluciones tradicionales que han ido surgiendo o sufriendo modificaciones a lo largo de los siglos. Aunque algo está cambiando en la concepción que tiene el ciudadano de proteger lo heredado y que ha derivado en un gran interés por la industria en invertir e investigar en técnicas y procesos de rehabilitación y/o restauración[198].

La siguiente etapa después de obtener el modelado de la pieza es su inserción en el modelo de información. Los software de escaneado o fotogrametría permite una salida muy flexible, pudiendo elegir entre diferentes formatos estándares de las aplicaciones de modelado: *3ds, obj, ply, stl, wrl*,… En el caso de utilizar el software ArchiCAD dispondremos de la opción de inserción de archivos especiales: en el formato nativo de 3DStudio (*.3ds*) o en el IFC 2x3 (*.ifc*), para convertir dichos elementos modelados en objetos paramétricos GDL. Cada objeto GDL incorpora una representación del símbolo en la vista de planta

[197] Los objetos paramétricos utilizados en ArchiCAD vienen identificados con la extensión *gsm*. Y debido al rápido crecimiento de la infraestructura en la comunicación digital, cada vez surgen más demandas de formatos inteligentes y catálogos en 3D que describan los componentes constructivos. Con el fin de hacer un completo uso de esta gran oportunidad, Graphisoft desarrolló una gama de herramientas de software que permiten utilizar objetos GDL en el buscador de Internet y otros entornos de CAD.

[198] Están naciendo constantemente accesorios que se insertan en ArchiCAD que nos facilitan el modelado de elementos ornamentales, arquitectónicos y soluciones constructivas habituales en edificios patrimoniales: columnas, impostas, frontones, bóvedas y remates. Entre ellas se encuentra Objective, que nos facilita el trabajo a la hora de operar con elementos sólidos, evitando entrar de lleno en el campo de la programación para editar y modificar los Script de los objetos paramétricos *gsm*.

sensitiva a escala; un parámetro de definición establece las posibles variaciones de la familia; y el Script 3D describe la geometría completa del elemento.

Pero es importante que sepamos que una conversión a paramétrico supondrá un aumento considerable de la información del nuevo objeto, pues además de los scripts que controlan las propiedades geométricas y representación en 2D (plumas y tramas utilizadas) se incorporarán otros, como su resolución y sombra en la visualización 3D, los materiales aplicados y los parámetros para incorporar en listados: coste, fabricante, ubicación, nº inventario, peso del objeto y otros a definir por el usuario (Fig. 336).

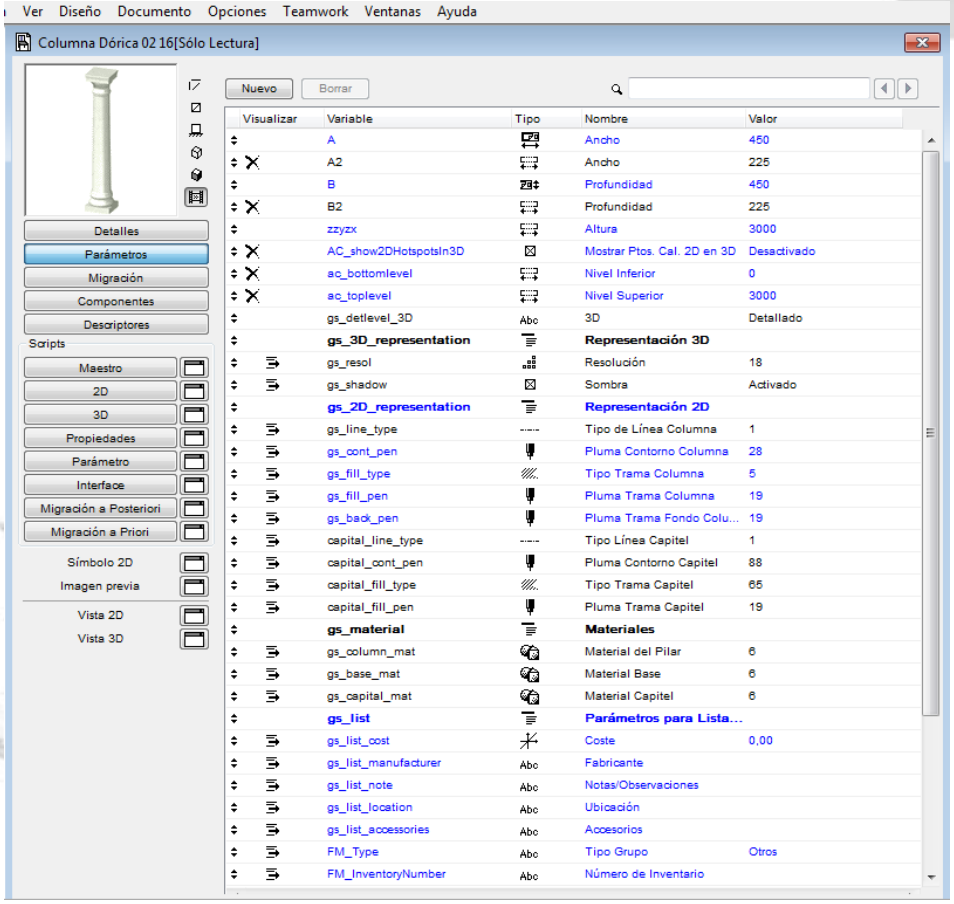


Fig. 336. Ventana de edición de los parámetros definidores del objeto *Columna Dórica 02 16.gsm*. Biblioteca básica de objetos de ArchiCad 16.

Para la operación de modelado de los elementos escaneados cualquier software empleado, sea de CAD o BIM, tiene como base una malla poligonal obtenida por la triangulación de los puntos capturados para formar las superficies del modelo tridimensional. Pero por lo general el número suele ser muy elevado, de los cuales muchos son innecesarios para la representación gráfica correcta del objeto, ocasionando triángulos pequeños que podrían ser suprimidos sin apenas apreciarse en el modelo. La solución tomada por nuestro equipo de trabajo ha estado en emplear el filtro *simplificar* para reducir los polígonos de la malla, disminuyendo considerablemente el tamaño del archivo.

Pongamos como ejemplo el escaneado del capitel nº 4, perteneciente a una de las columnas de la fachada sur del Cenador. Una vez procesado el escaneado

desde el Software de Artec obtuvimos un modelo que se guardó en archivo *obj*, con una capacidad de 71053 kb. Debido a su tamaño considerable empleamos el filtrado de simplificación de polígonos[199], consiguiendo en esta segunda etapa una contundente reducción al obtener un archivo *3ds* de 395 kb (para su inserción en ArchiCAD) sin apenas percibir perdidas de datos en profundidades y resaltes de los motivos florares (Fig. 337).

Esta operación es necesaria para que el modelo virtual sea fácilmente manipulable, más cuando se quiere una exploración del mismo en tiempo real con el mapeado de superficies (modo Open GL) y en unos equipos informáticos que disponen de un hardware aceptable. Pero si es cierto que la información obtenida del escáner con todas las superficies bien definidas y sus texturas reales aplicadas no se deben perder.

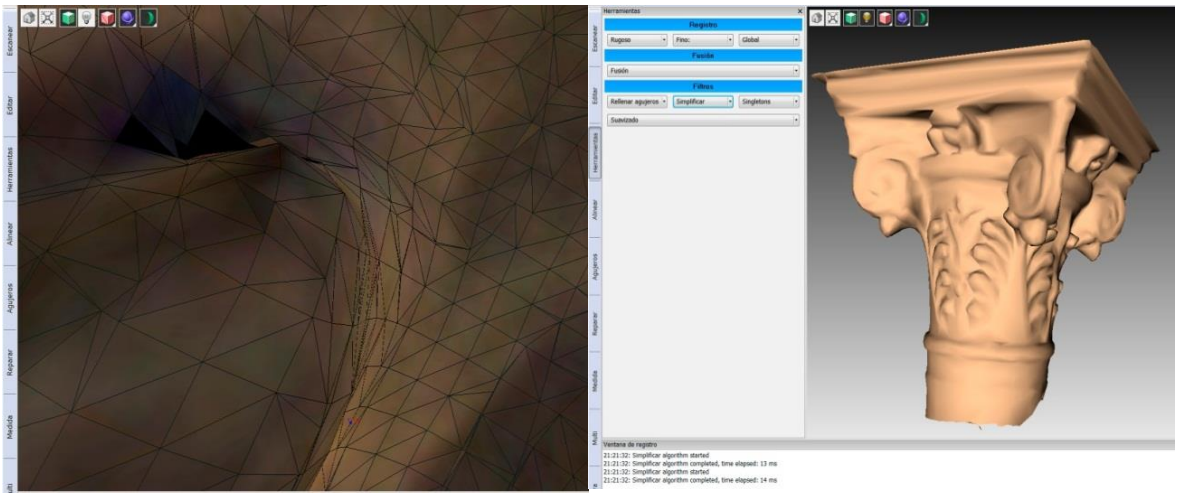


Fig. 337. a) Modelado 3D del elemento con la malla a base de triangulación de puntos. b) Modelo del capitel 4 aplicando el filtro "simplificar "que reduce la triangulación de las superficies y disminuye su tamaño.

Volviendo al caso estudiado, la pieza arquitectónica ya simplificada fue importada desde ArchiCAD para generar un objeto paramétrico *gsm* de 2600 kb, que se archivó en la biblioteca (incrustada o externa) para que fuese insertado las veces que quisiéramos en el modelo de información (Fig. 338, Fig. 339).

[199] Una vez posprocesado todos los elementos escaneados en el Cenador de Carlos V, se simplificó la malla poligonal a un máximo10.000 triángulos. Cuanto más se simplifique, de menor relieve dispondrá el elemento, lo que conlleva una pérdida de detalle y, por consiguiente, de información.

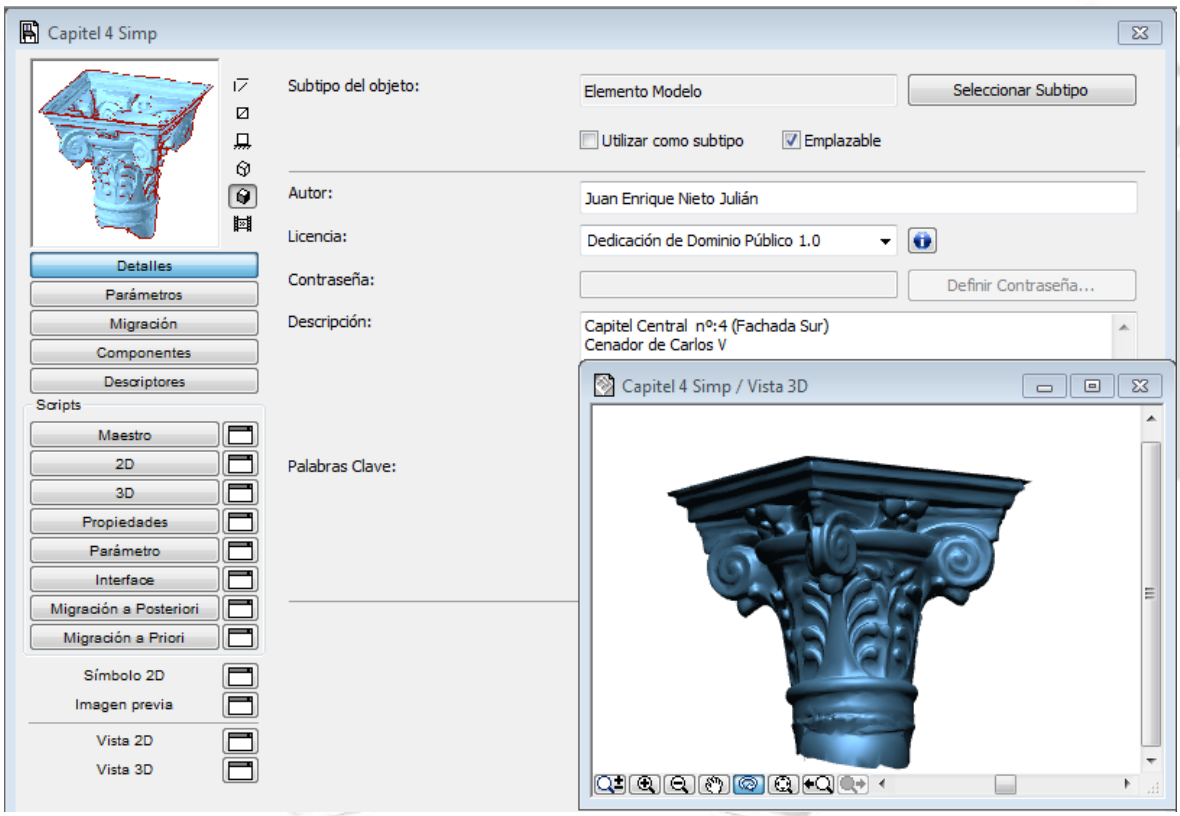


Fig. 338. Ventana de edición de los parámetros definidores del objeto simplificado *Capitel 4 Simp.gsm*. Cenador de Carlos V.

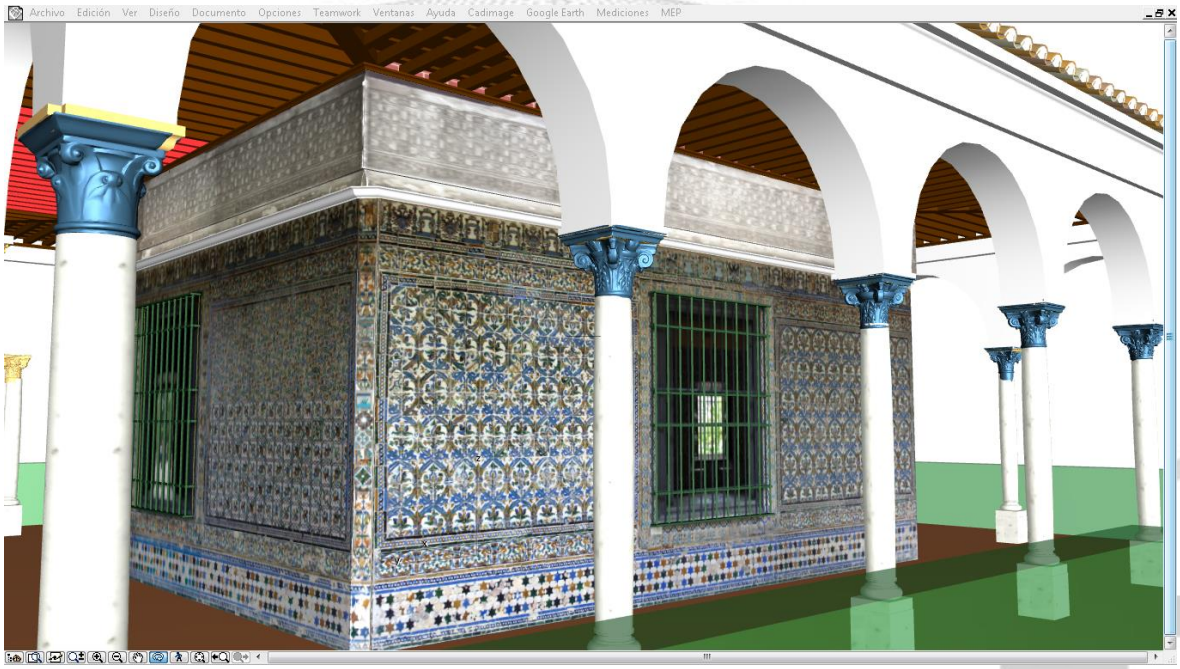


Fig. 339. Inserción de los capiteles en el modelo del Cenador de Calor V. Software ArchiCAD v16. 2013.

8.6.1. Documentación de las carpinterías

Otro de los componentes substanciales del Cenador eran el artesonado que envuelve la cúpula semiesférica de la sala central y sus carpinterías de madera con cuarterones que incluían motivos florares y rizos entrelazados tallados a mano. Las carpinterías son consideradas de un alto valor por su antigüedad, y pensamos que deberían ser documentadas con sus características dimensiones reales, tarea que fue emprendida por el equipo admitiendo las dos técnicas de levantamiento más eficaces hoy en día: la fotogrametría y el escaneado 3D. En cuanto a la primera se empleó únicamente para la creación de las ortofotografías, con el objetivo de obtener mapas para ser asociados a la geometría de los objetos: las ventanas con orientación este, norte y oeste, y la puerta de acceso a la sala interior con orientación sur.

Necesitábamos llevar la geometría tridimensional completa a todos los elementos del modelo de información para que este fuese verdaderamente una base gráfica del patrimonio arquitectónico extrapolable a todas las disciplinas participativas, sea en una etapa de investigación-documentación o en una inminente intervención de restauración o rehabilitación. Y pensamos que habría que confeccionar unos objetos paramétricos propios. Las Puertas, las Ventanas, los marcos y los paneles de Muro Cortina son objetos GDL con una infinidad de parámetros variables. Por ejemplo, las puertas y ventanas de la biblioteca de ArchiCAD ofrecen diversas opciones para los paneles y los tiradores de las hojas, utilizando unos diseños actuales o de estilos preestablecidos en el mercado de la construcción contemporánea (Fig. 340).

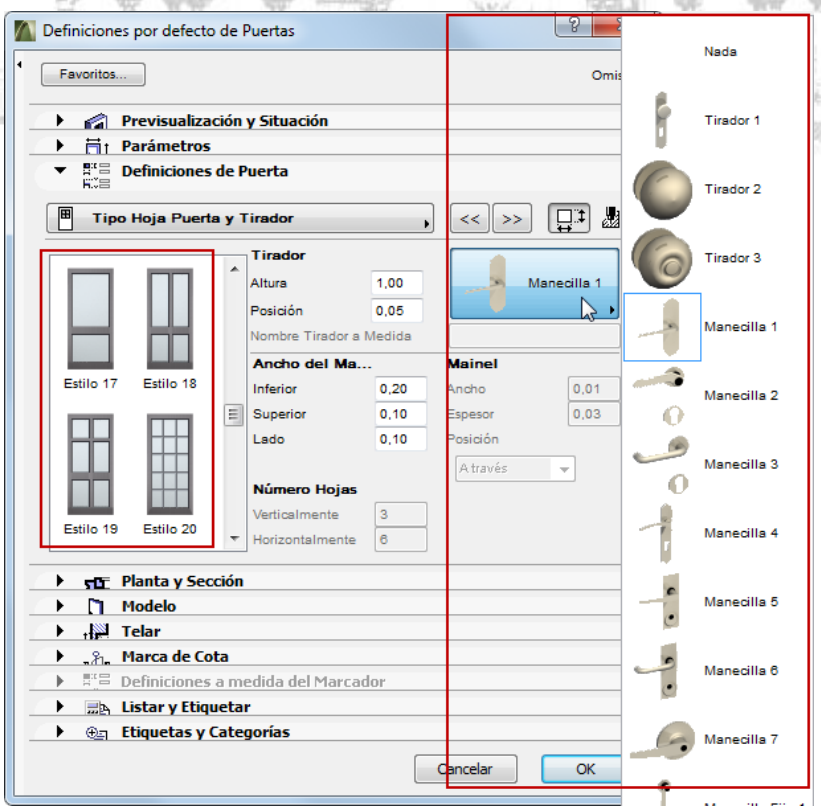


Fig. 340. Ventana con las Definiciones de los parámetros del objeto paramétrico Puerta: Tipo de Hoja y Tirador.

Pero cuando se actúa en el campo patrimonial es frecuente que se trabajen con piezas originales de varios siglos atrás o que las tipologías estudiadas sean de un diseño artesanal exclusivo.

Y si lo trasladamos a la sección de carpinterías, se demandará un tipo de componente distinto y que no estará disponible en la biblioteca básica de objetos, aunque la flexibilidad en incorporar cambios en los parámetros de puertas y ventanas nos permita una infinidad de variantes. No se persigue aproximaciones o falsas representaciones sino un modelo con las geometrías reales (Fig. 341).

Fig. 341. Hojas de la ventana Norte del Cenador de Carlos V. Los motivos tallados en los tres cuarterones de la hoja izquierda y hoja derecha están repetidos en sus homólogas de las ventanas orientadas al Sur y Este.

Con las aplicaciones BIM tenemos la posibilidad de dibujar el elemento modelo, guardarlo como ítem de biblioteca y definirlo como un componente personalizado para después utilizarlo en las carpinterías paramétricas que se coloquen en el modelo. Para las hojas expuestas empleamos la herramienta *forjado* para confeccionar la hoja de puerta personalizada, incluyéndole después las nervaduras canteadas con el uso de la herramienta *viga* (asociándole el *perfil* capturado en la medición). Para incorporarles huecos o rebajes empleamos las *operaciones* booleanas en los elementos sólidos intervinientes: sustracción, intersección y adicción.

El objeto GDL resultante se guardó como un componente de la carpintería para ser posteriormente utilizado en las variables de configuración de la Puerta/Ventana /Muro Cortina a insertar en el proyecto BIM. De este modo cuando accedamos a una de las familias de carpinterías para elegir un objeto GDL podremos optar por incorporarle alguno de los componentes

personalizados recién creados: *Faja de Ventana, Hoja de Puerta, Panel Persiana, Puerta Armario, Tirador,…* (Fig. 342) [200].

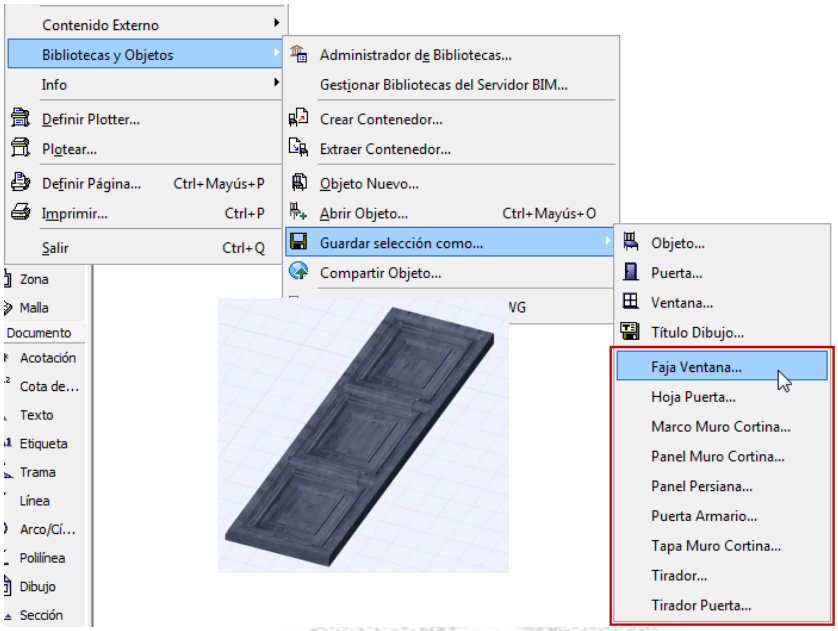


Fig. 342. Guardado de la Faja (Hoja) de la Ventana del Cenador de Carlos V.

Cuando se examinaron las carpinterías de madera para la toma de las geometrías, descubrimos en las hojas tres cuarterones que incluían tallas artesanales que serían muy complicadas adquirirlas con los mismos utensilios tradicionales de medición (flexómetro y calibrador), como su posterior modelado con las herramientas de diseño del software BIM. Las medidas de las ventanas (1.35 m de ancho x 1.90 m de alto) sufrían pequeñas variaciones entre las tres motivado por las sucesivas intervenciones sufridas por el edificio en sus varias centurias de vida o por su producción manual. Este hecho nos exigió decantarnos por el uso del escáner, procediendo al escaneado de las dos hojas de la ventana norte en tres fracciones (correspondientes a cada cuarterón tallado).

En un principio se pensó en un escaneado completo de cada una de las hojas, pero después de posprocesar cada barrido para adquirir los detales de cada talla por separado los archivos obtenidos eran inmensos (el cuarterón superior de la hoja izquierda de la ventana norte alcanzó 419.166 KB, y 340.304 KB para el central de la hoja derecha). Enlazarlos en un único modelo hubiera supuesto una información inmensa de puntos espaciales que el hardware del pc portátil no hubiese soportado para su procesamiento. Como lo que nos interesaba era únicamente las tallas centrales, y percibiendo que el resto de resaltes eran dos cañas de madera que funcionaban como marcos a los motivos tallados,

[200] Los componentes personalizados aparecen listados en *Archivo>Bibliotecas y Objetos>Guardar selección* como Ítem de Biblioteca. Cuando se apliquen los componentes personalizados, si es necesario, ArchiCAD automáticamente lo escalará. Por ejemplo, crear un componente personalizado de tipo Panel de Puerta de tamaño 1000 por 2000 mm. Si se quiere emplear para una puerta de tamaño 800 por 2000 mm, con un ancho de marco de 50 mm por todos los lados, el Panel será escalado a 700 por 1950 mm. El programa alargará/estirará todas las partes del componente personalizado del Panel de Puerta proporcionalmente para encajar este tamaño.

modelamos cada hoja con las herramientas básicas de diseño de ArchiCAD[201] y dejamos el resto de las geometrías artesanales para el escáner (Fig. 343).

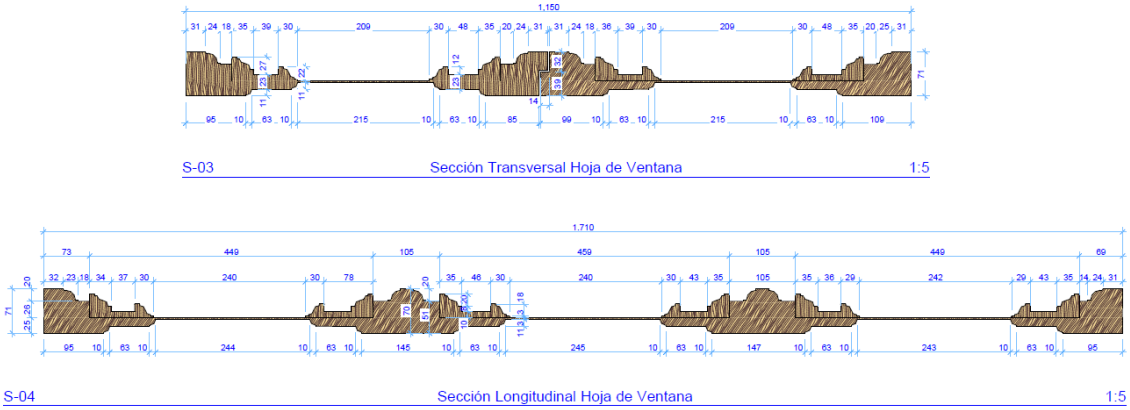


Fig. 343. Secciones acotadas de la Hoja de la ventana norte, modelada con las herramientas forjado y viga, utilizando un perfil personalizado para las diferentes molduras en las cañas de los cuarterones y marcos.

Paralelamente se llevó a cabo una manipulación de las imágenes tomadas sobre las ventanas y puerta para crear los mapas de texturas y asociarlos a los materiales de las superficies del objeto GDL, como también para obtener las medidas directas de todos los componentes de las carpinterías desde el mismo software BIM (Fig. 344.b)[202].

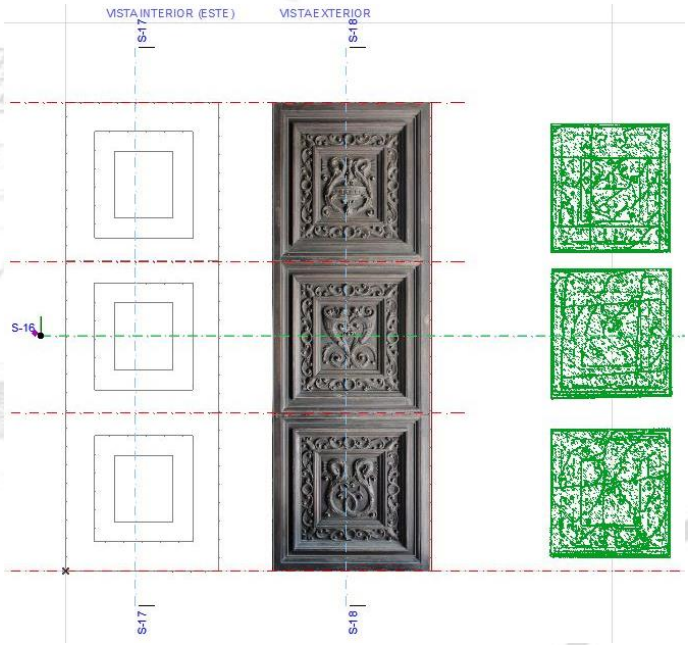


Fig. 344. a)Alzado de la cara trasera de la hoja de ventana, realizado con las herramientas de forjado y vigas de ArchiCAD;

b) alzado de la ortofoto rectificada y acoplada con sus medidas;

c) inserción en el proyecto BIM de los tres cuarterones de ventana como objetos paramétricos tipo *gsm*.

En cuanto al escaneado de las carpinterías, nos decantamos únicamente por los motivos enmarcados que se repetían en las dos hojas de cada ventana (en total seis), procediendo a un barrido con el escáner portátil 3D de Artec de los tres cuarterones centrales de una sola ventana, eligiendo los de la fachada norte por tener una iluminación acorde con la calibración del equipo (Fig. 345).

[201] Las dos hojas se modelaron con *forjado*, y se sacaron los diferentes *perfiles* de marcos perimetrales y cañas centrales para asociarlo a la herramienta *viga* y colocarlos sobre la hoja.
[202] Véase el apartado 8.4.5. El mapeado de las carpinterías.

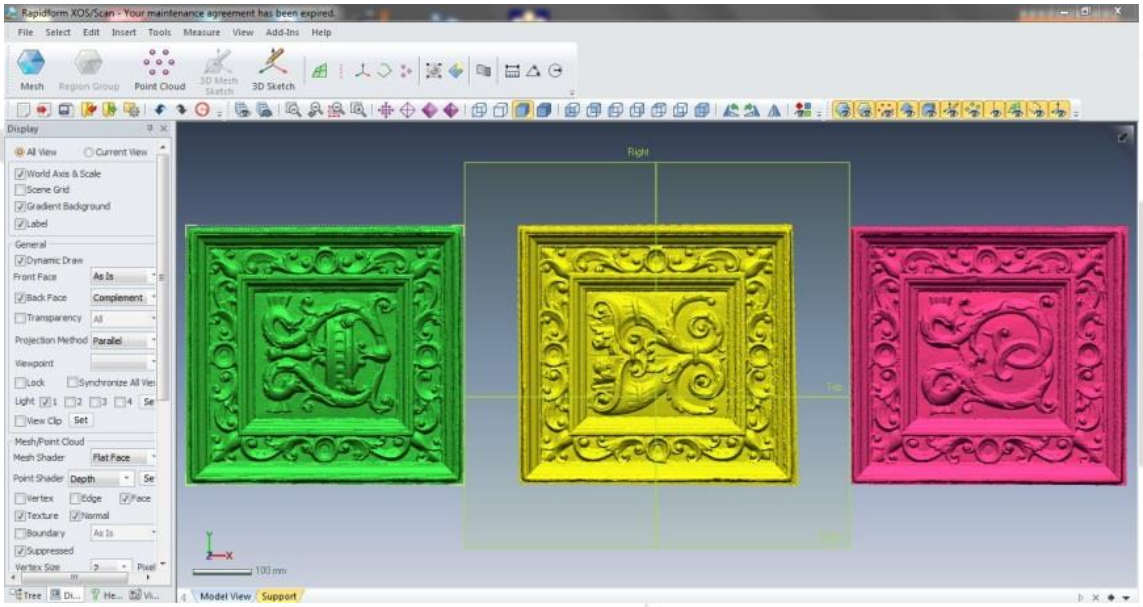


Fig. 345. Alineamiento en *Rapidform XOS/Scan* de los tres cuarterones escaneados de la hoja izquierda de la ventana con orientación norte.

Como se comentó anteriormente, el gran volumen de cada documento escaneado nos hizo decantarnos por obtener un objeto paramétrico GDL para cada cuarterón. El archivo tuvo un tratamiento idéntico al llevado para los capiteles que coronaban las columnas del Cenador de Carlos V. El escaneado, una vez posprocesado, se guardó como tipo *obj* y después importado desde la aplicación *Rapidform XOS/Scan* para la correcta orientación del sistema XYZ y la manipulación de las mallas. Aunque esta segunda tarea no fue necesaria, ya que este proceso de depuración de las caras se llevó a cabo directamente desde el software *3D Escáner* de Artec. (Fig. 346).

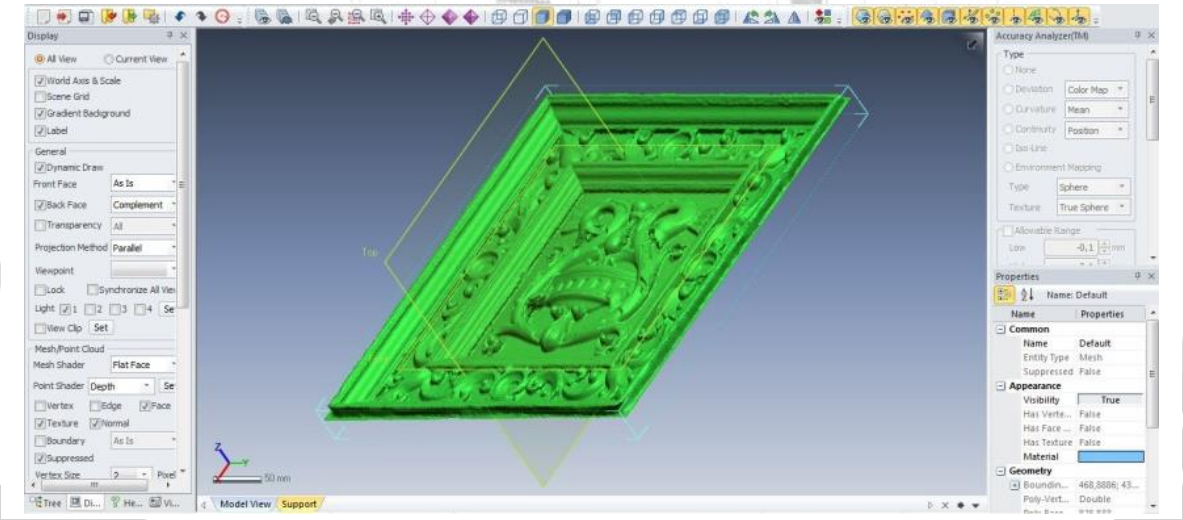
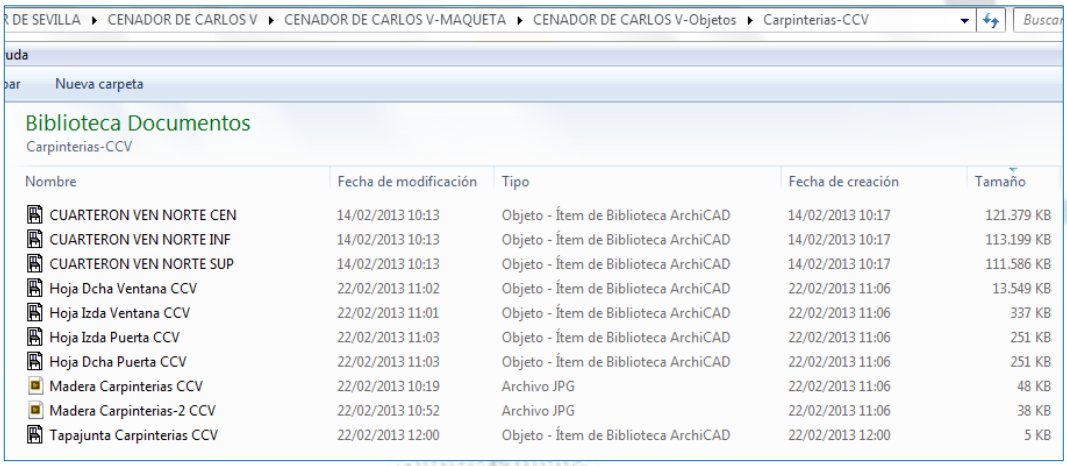


Fig. 346. Inserción en formato *obj* de un cuarterón de la hoja de ventana en la aplicación *Rapidform XOS/Scan*.

El objeto final simplificado se guardó finalmente con extensión *3ds* para su inserción como archivo especial en ArchiCAD. Pero antes de su manipulación en el modelo de información los objetos insertados sufren la transformación a objetos paramétricos *gsm*. Es aquí donde encontramos dificultades en la optimación de los objetos GDL dentro del Cenador, ya que el proceso de simplificación no había reducido lo bastante el volumen de los archivos para que el resultante

paramétrico fuese optimo, conscientes de que su mutación iba a incrementar considerablemente la información. En la imagen siguiente se muestra los nuevos objetos paramétricos de ArchiCAD ordenados por tamaño, donde se percibe que los tres cuarterones de la ventana norte son diez veces superiores a los demás generados (las Hojas de Ventana CCV y Hojas de Puerta CCV) (Fig. 347).



Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Fecha de creación	Tamaño
CUARTERON VEN NORTE CEN	14/02/2013 10:13	Objeto - Ítem de Biblioteca ArchiCAD	14/02/2013 10:17	121.379 KB
CUARTERON VEN NORTE INF	14/02/2013 10:13	Objeto - Ítem de Biblioteca ArchiCAD	14/02/2013 10:17	113.199 KB
CUARTERON VEN NORTE SUP	14/02/2013 10:13	Objeto - Ítem de Biblioteca ArchiCAD	14/02/2013 10:17	111.586 KB
Hoja Dcha Ventana CCV	22/02/2013 11:02	Objeto - Ítem de Biblioteca ArchiCAD	22/02/2013 11:06	13.549 KB
Hoja Izda Ventana CCV	22/02/2013 11:01	Objeto - Ítem de Biblioteca ArchiCAD	22/02/2013 11:06	337 KB
Hoja Izda Puerta CCV	22/02/2013 11:03	Objeto - Ítem de Biblioteca ArchiCAD	22/02/2013 11:06	251 KB
Hoja Dcha Puerta CCV	22/02/2013 11:03	Objeto - Ítem de Biblioteca ArchiCAD	22/02/2013 11:06	251 KB
Madera Carpinterias CCV	22/02/2013 10:19	Archivo JPG	22/02/2013 11:06	48 KB
Madera Carpinterias-2 CCV	22/02/2013 10:52	Archivo JPG	22/02/2013 11:06	38 KB
Tapajunta Carpinterias CCV	22/02/2013 12:00	Objeto - Ítem de Biblioteca ArchiCAD	22/02/2013 12:00	5 KB

Fig. 347. Listado de los objetos paramétricos *gsm* de ArchiCad ordenados por Tamaño.

Para evitar que los objetos fuesen difíciles de manipular en el modelo BIM bajo un ordenador con un hardware de prestaciones que se suponen aceptables[203], se procedió a no incorporar las tres mallas que contenían los cuarterones tallados para conformar el objeto paramétrico GDL, dejando solamente el modelado de cañas y marcos con las herramientas básicas de ArchiCAD (Fig. 348).

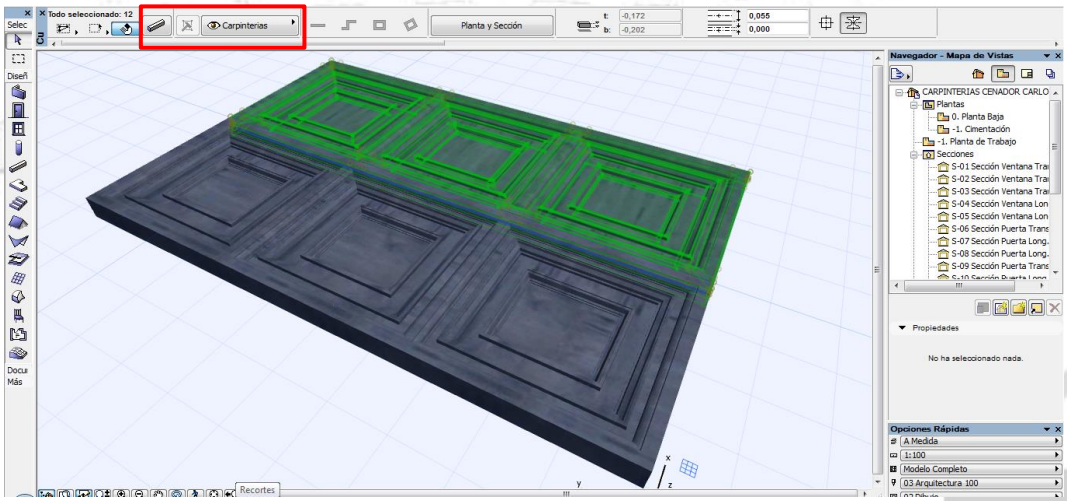


Fig. 348. Vista 3D de las dos hojas de la ventana antes de su conversion a objeto paramétrico *gsm*. Las molduras seleccionadas están realizadas asignado su perfil a la herramienta *viga* de ArchiCAD.

Posteriormente se insertó un objeto ventana en el muro del modelo BIM al que se le designó las geometrías del hueco y los parámetros definidores del marco, faja y abertura entre otros. Para la faja u hoja se le asignó un *Panel a medida,* que no era otro que el objeto GDL creado anteriormente como *Faja* de la ventana: *Hoja Izda Ventana CCV.gsm, Hoja Dcha Ventana CCV.gsm* (Fig. 349).

[203]Se requiere procesador de 64-bit (Core2Duo y posterior). 3 GB RAM requerido, 6 GB o más recomendado. Tarjetas Gráficas compatibles con OpenGL y DirectX 9 con una memoria de 256 MB o más. Preferiblemente OpenGL3.3 para sacar partido completamente de todas las capacidades de aceleración de hardware.

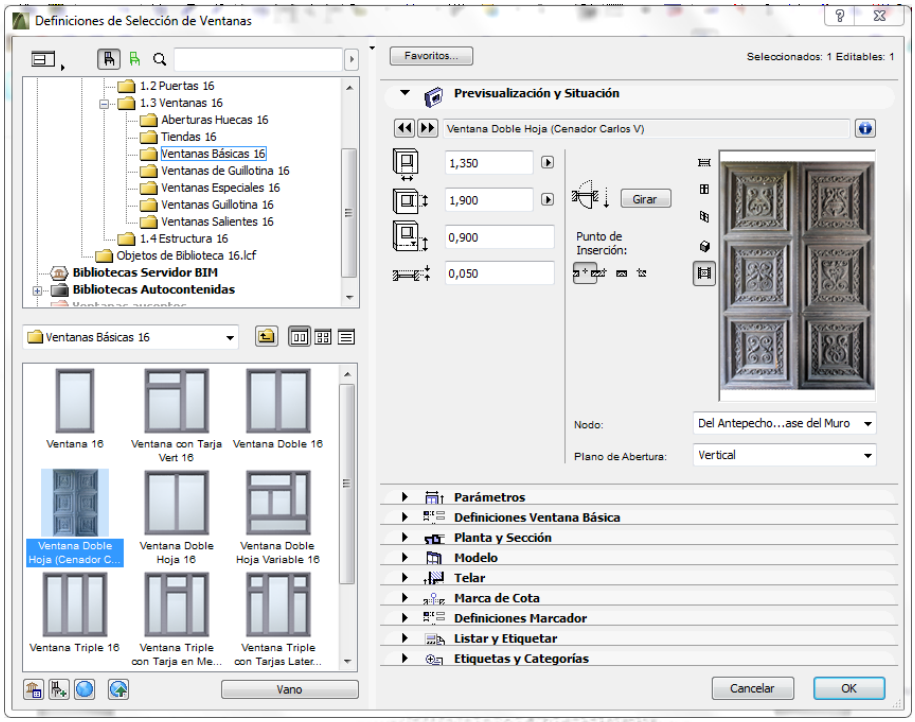


Fig. 349. Ventana de definición de parámetros del nuevo objeto paramétrico GDL creado con las definiciones de la ventana del Cenador de Carlos V.

Al final la ventana quedaba insertada en el proyecto HBIM como un objeto paramétrico GDL flexible y como base documental de toda la información real tomada de la fase de análisis y auscultación del edificio patrimonial (Fig. 350).

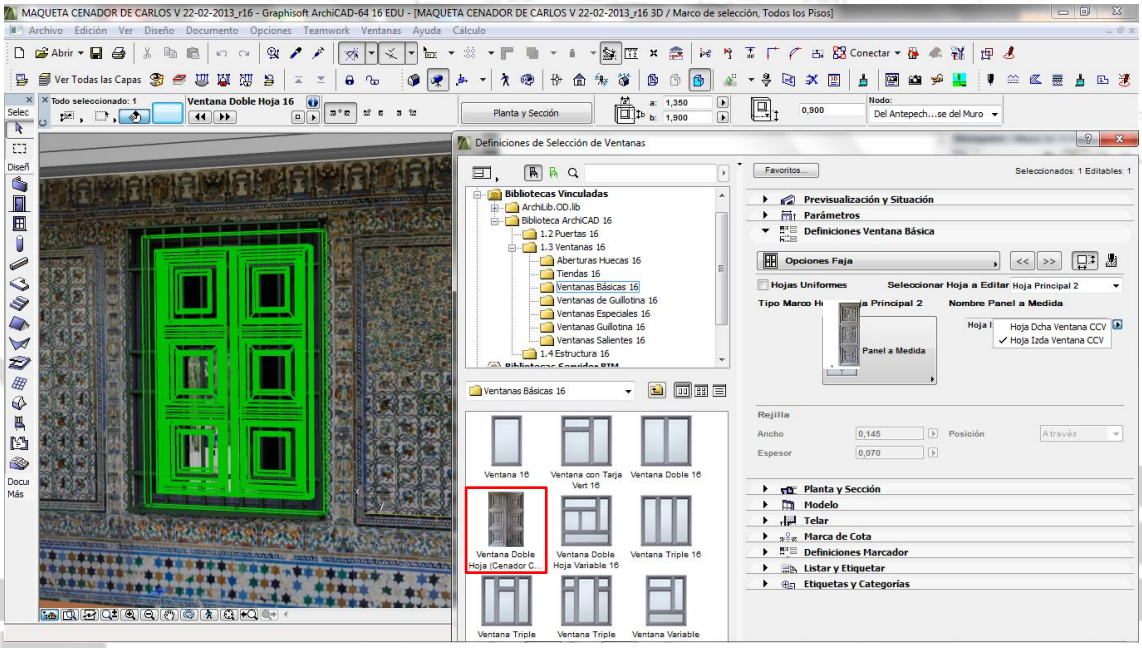


Fig. 350. Edición de los parámetros del objeto Ventana, con dos Hojas o Paneles a medida. Software ArchiCAD.

8.7. Escaneado de las yeserías exteriores

En el apartado dedicado a la creación de ortoimágenes[204] ya presentamos los resultados obtenidos de la manipulación de las fotografías realizadas sobre las yeserías exteriores del Cenador, y que nos han permitido mapear las superficies de las fajas que rematan los alicatados. Ahora, lo que vamos a mostrar es el trabajo de modelado de las mismas yeserías empleando el escáner óptico para capturar su geometría, centrándonos únicamente en cubrir un módulo que incorpore los motivos que se repiten a lo largo del perímetro del Cenador. Como la longitud no supera el metro, nos ha sido fácil escanearlo en una sola sesión, facilitando considerablemente tanto el trabajo de campo como el posprocesado en gabinete.

Fig. 351. Fotografía del módulo de yesería de la fachada norte. 2012.

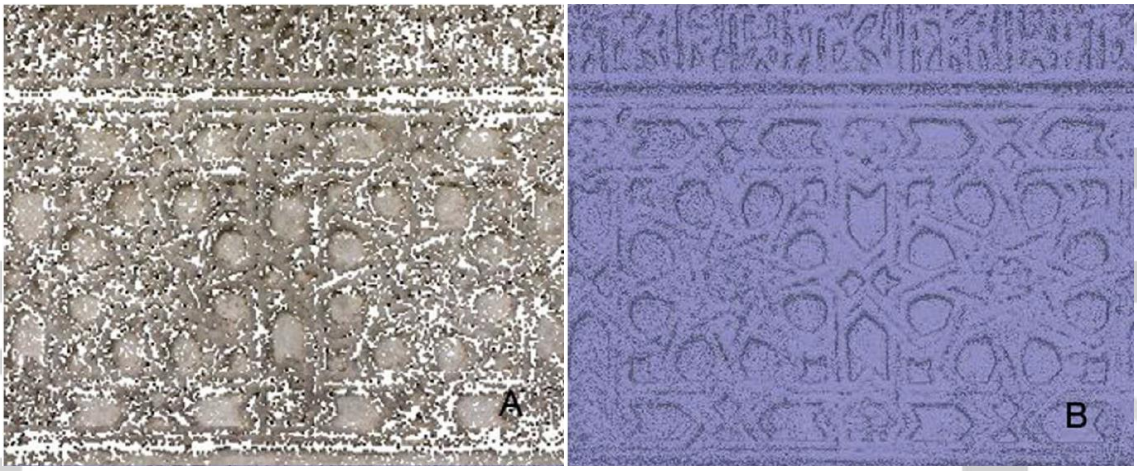


Fig. 352. A. Nube de puntos del escáner Artec 3D. B. Superficie triangulada del módulo de yesería. Autor: Borja Molero. 2012.

[204] 8.4. Generación de ortoimágenes para el mapeado de superficies

En las imágenes anteriores mostramos el trabajo sobre un módulo de la yesería de la fachada norte. La información obtenida por el escáner 3D de Artec para una superficie de 400 mm^2 ha supuesto la suma de 4.312.860 puntos, es decir, aproximadamente 10700 puntos por mm^2.

Fig. 353. Fase C. Modelado y texturizado del módulo de yesería de la fachada norte. Autor: Borja Molero. 2012

8.8. La información de técnicas de análisis no destructivo: La Termografía

Muchas de las patologías que se dan en el patrimonio arquitectónico suelen ser derivadas de causas habituales en este tipo de construcciones: aparición de verdín en zonas húmedas, grietas, fisuras, desprendimiento o abombamientos del revestimiento. Pero hay otras que son específicas del edificio, sea por su tipología constructiva, por su emplazamiento peculiar o por el devenir en su historia. Por ello, toda intervención requiere de un análisis previo del estado de conservación del edificio. Aunque por las singularidades propias del bien patrimonial, se hace aconsejable el uso de técnicas no destructivas evitando agravar los problemas detectados o causar nuevos daños a la construcción.

Hoy la termografía infrarroja está siendo ampliamente utilizada para la inspección de edificios ya construidos, ayudando en la detección de anomalías, patologías y/o pérdidas energéticas en fachadas de edificación. Pero, además, juega un papel fundamental en el estudio patológico de edificios históricos debido a su carácter de técnica nada agresiva y con resultados muy satisfactorios.

La termografía es una técnica que aprovecha la radiación emitida por la superficie de un cuerpo como variable termométrica. Una imagen termográfica recoge la variación de intensidad infrarroja, es decir, todo cuerpo cuya temperatura sea superior al cero absoluto[205] (0 K = -273,15 °C) emite radiación en el rango correspondiente al infrarrojo del espectro electromagnético[206] (Fig. 354), que es posible estipular mediante una cámara termográfica.

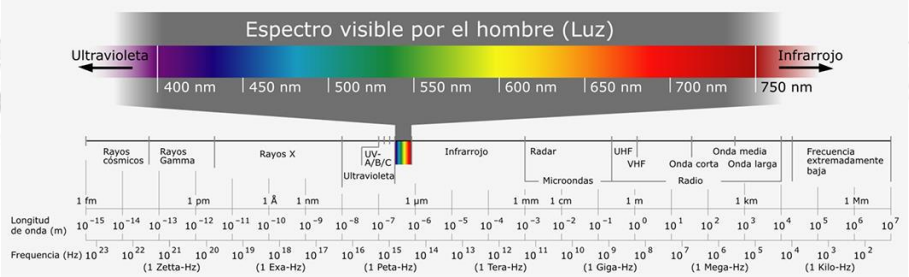


Fig. 354. Fuente: http://rodcontre.files.wordpress.com/2011/08/electromagnetic_spectrum.png

Aunque la termografía se fundamenta en la medición de la temperatura superficial de un cuerpo, se pueden detectar elementos interiores siempre que éstos transmitan por conducción su diferencia de temperatura hacia el exterior.

[205] Con una longitud de onda 0.75 x 10^{-6} a 10^{-3} metros y frecuencia en torno a 10^{13} Hz. Téngase como referencia ENERGY SAVING TRUST: "Post-construction testing, a professional's guide to testing housing for energy efficency", *Building Research Establishment Ltd., Glasgow*. 2005.

[206] CONTRERAS DÍAZ, Rodrigo. *Blog de Rodrigo Contreras*. 01-08-2011-última actualización. Disponible: http://rodcontre.files.wordpress.com/2011/08/electromagnetic_spectrum.png [17-03-2013].

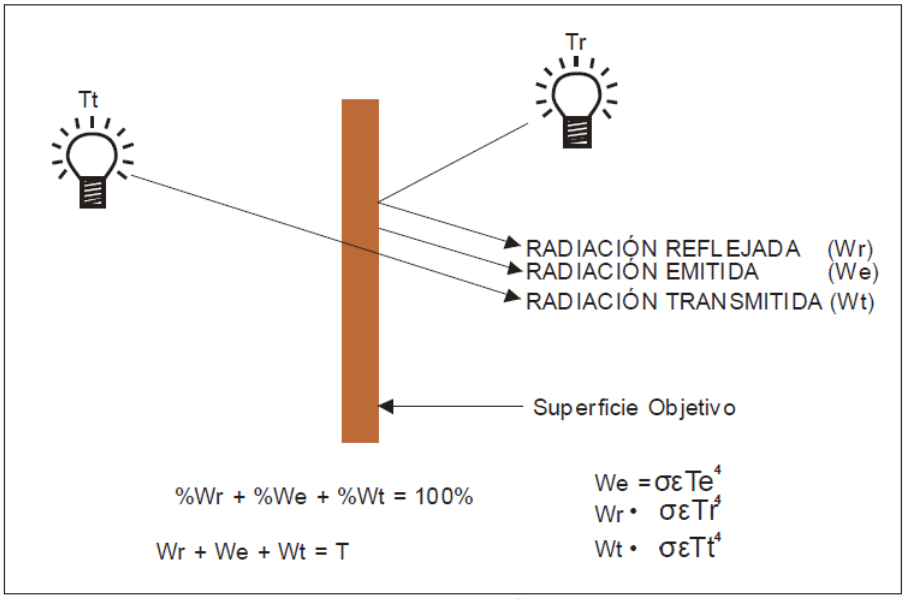


Fig. 355. Fuente: Fernando Rico (2009:31). Tesis Doctoral: Modelo de diagnóstico por imágenes en edificación mediante la aplicación de tecnologías avanzadas.

Así, con esta técnica es posible localizar aspectos arquitectónicos detrás de revestimientos, zonas deterioradas no visibles y distinguir diferentes aparejos ocultos en las fábricas o superposición de ciclos constructivos no apreciables a simple vista.

Fig. 356. Imagen termográfica sobre un lienzo de muralla. Fuente: IPPH – Investigaciones para el Patrimonio Histórico. http://ipph.es/portfolio/imagenes-termograficas/

La detección de estas peculiaridades obedece a una diferencia de emisividad más que a una diferencia de temperaturas. El sector donde se localiza el defecto no tiene las mismas características superficiales que la fachada intacta, provocando una variación en su capacidad de emisión de radiación.

Esta identificación permite reconocer el lugar exacto en el que se producen filtraciones causantes de las humedades aparentes, las pérdidas de calor, el cambio en la tipología de los materiales empleados en la fábrica, localización de grietas, identificación de estructuras y piezas ocultas que nos proporcionan una información valiosa a la hora de acometer una rehabilitación del edificio.

Otra ventaja de la termografía infrarroja es que permite al investigador o especialista analizar zonas de difícil acceso, con la posibilidad de adquirir

medidas del elemento o pieza inspeccionada sin necesidad de un contacto directo. La cámara termográfica nos proporciona una visualización "bidimensional" del sector fotografiado, que nos permite después acometer una comparación entre zonas del mismo cuerpo.

8.8.1. Aplicabilidad de la termografía infrarroja al Cenador de Carlos V

La termografía infrarroja está teniendo una aplicabilidad muy práctica en el ámbito de la edificación para el estudio de la eficiencia energética de edificios con soluciones constructivas no contrastadas. Previamente al empleo del equipo termográfico y aplicación informática es necesario recabar cierta información acerca del edificio, sobre todo en su aspecto constructivo. De esta forma se pueden definir exhaustivamente los aspectos para un correcto análisis térmico de la envolvente. La información de índole constructiva se basa en las características físicas y dimensionales del edificio y ciertos aspectos de su entorno.

Conociendo los anteriores parámetros del edificio y su configuración arquitectónica, se pueden llevar a cabo los cálculos pertinentes para la obtención de la correspondiente transmitancia térmica y compararla con los valores límite para cada parte de la envolvente en función de la zona climática en la que se emplaza el inmueble.

Pero la aplicabilidad de esta técnica en nuestro modelo de estudio, dentro del patrimonio construido, está más orientada a un reconocimiento visual de otras patologías que pasaban inadvertidas por tratarse de daños, ausencias o alteraciones de materiales en el interior del elemento constructivo. Estos daños destacan en el termograma por poseer una coloración diferente, no encontrándose en consonancia con las temperaturas del resto del elemento.

Al examinar los cerramientos del Cenador de Carlos V, nos encontramos con patologías muy localizadas en los revestimientos exteriores de la sala central, con abombamientos en alicatados, desperfectos y desprendimientos de azulejos, que hemos podido evidenciar en fotografías de apartados anteriores. Vimos, por tanto, muy efectivo aplicar la técnica de termografía infrarroja en el muro más deteriorado, concretamente el orientado hacia el sur, e insertar las imágenes termográficas en el modelo de información para contrastarlas con las ortofotos que texturizan los elementos.

En cualquier informe termográfico es esencial incorporar la ubicación y referencia (código) de las instantáneas tomadas, la imagen a luz visible y el termograma, debiendo éste estar dotado de la escala de colores según la temperatura y pudiendo poseer información adicional como polígonos, líneas o puntos. Aunque junto al documento gráfico aportado (planimetría, croquis, fotografías) debe ir la ubicación de los termogramas.

Papa discriminar zonas afectadas por incrementos o detrimentos de temperatura resulta de utilidad la incorporación de técnicas suplementarias de delimitación de sectores en función de su temperatura dentro de las imágenes térmicas obtenidas. Es el caso de las isotermas, a través de las cuales se pueden ajustar manualmente los rangos de temperatura en el termograma y obtener de una manera más clara las zonas conflictivas. Las áreas afectadas y con temperaturas muy similares se dotan del mismo color para ser más fácilmente diferenciadas de las zonas no problemáticas.

El informe puede incluir un histograma de temperaturas asociado a una línea o polígono (Fig. 357).

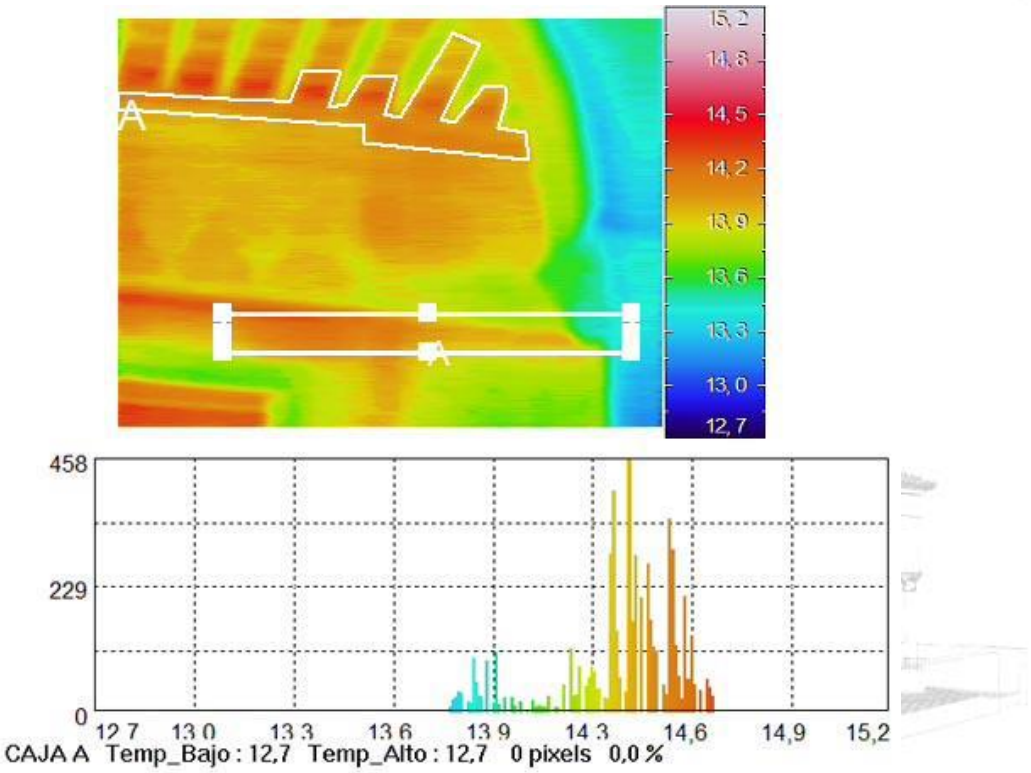


Fig. 357. Empleo del software específico. Inclusión de líneas, polígonos e histograma. Fachada Sur del Cenador de Carlos V, Real Alcázar de Sevilla.

8.8.1.1. La metodología empleada

8.8.1.1.1. Empleo del software especializado de Termografía Infrarroja

Tras la fase de toma de fotografías térmicas de la fachada en cuestión, se han exportado éstas a un software especializado, como es la aplicación InfReC Analyzer Lite Version 1.1A, que es capaz de gestionar los datos registrados por la cámara mediante una serie de utilidades destinadas al tratamiento de las imágenes, a la obtención de información procedente de las mismas y finalmente a generar informes, que son base para la decisión de intervención en el edificio.

La aplicación, por un lado, manipula los formatos de importación o de nueva creación y por otro los de exportación. Los primeros son de extensión **.sit* o **.irp* y tienen la capacidad de soportar la edición de metadatos. Esto quiere decir que

es posible contener información adicional a la imagen primitiva, como valores de temperatura o histogramas que posteriormente serán descritos. La extensión *.*sit* se refiere a la imagen termográfica y sus metadatos, mientras que la *.*irp* se emplea para proyectos, que de hecho contienen imágenes *.*sit*.

Por otro lado, los formatos de exportación pueden ser de imagen de extensión *.*bmp* o *.*jpg*, incapaces de soportar valores editables en su interior como los citados anteriormente, o vídeo en formato *.*avi*, que consta de un determinado número de fotogramas por segundo. Los formatos de exportación pueden contener tales metadatos, pero no editables, porque la imagen ya se encuentra rasterizada en su totalidad, perdiendo la configuración vectorial que el de importación poseía.

En el software de la cámara termográfica las imágenes infrarrojas van acompañadas de sus homólogas con la percepción del ojo humano, es decir, se obtienen dos imágenes de la misma zona a estudiar, una es un termograma y la otra una fotografía tradicional. Con esto se consigue identificar los problemas advertidos en la imagen térmica y asociarlos directamente en la fotografía a luz visible y a alteraciones perceptibles o elementos que incluso pueden aparentar tener buen aspecto, escondiendo tras de sí la patología.

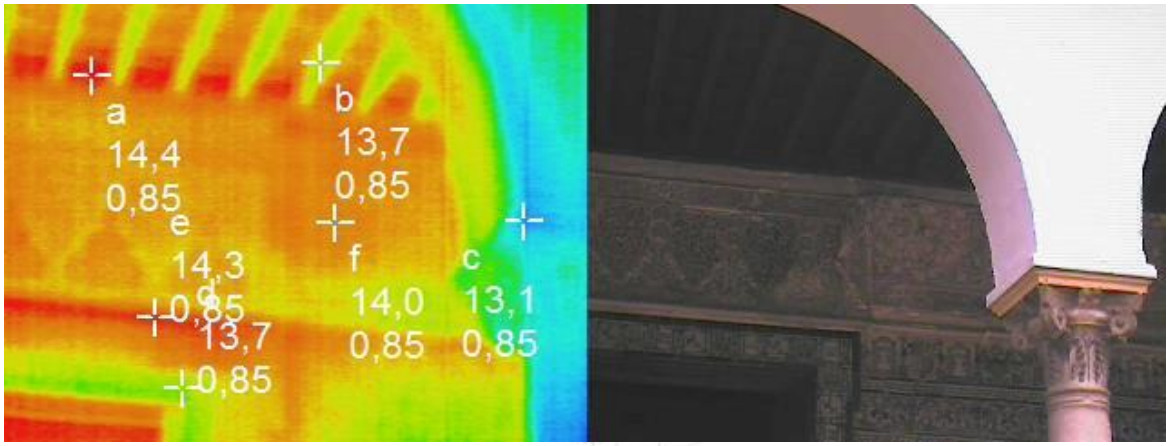


Fig. 358. Fachada Sur del Cenador de Carlos V, Real Alcázar de Sevilla. Inclusión de puntos.

Además es posible insertar puntos, líneas y polígonos en el termograma con vistas a obtener sus temperaturas, conformando los metadatos reseñados anteriormente. De esta forma, los puntos tienen asociados el valor de la temperatura directamente, mientras que las líneas y polígonos dibujados manualmente lo hacen a través de un histograma. Se obtienen pues los valores máximo, mínimo, relativo y promedio de temperatura en dicho polígono.

8.8.1.1.2. Tratamiento digital de imágenes

Una vez hemos obtenido las termografías procedentes de la inspección del cerramiento edificio patrimonial (muro orientado al sur), propusimos un tratamiento de las mismas por medio de la restitución fotográfica para disponer de las dimensiones de los elementos en verdadera magnitud (azulejos, cenefas, listeros y yesos superiores). De esta forma, las áreas son reales y se pueden

relacionar con la superficie exacta de zonas conflictivas térmicamente al coincidir con la extensión total de paños alicatados y yeserías.

Esta necesidad surge de emplear un procedimiento efectivo en la toma de termografías, en lo que a la colocación del instrumento se refiere, dado que para evitar en mayor medida la incidencia de la energía reflejada por el material proveniente de la fuente radiante principal (el sol incidente del sur), la cámara se debe orientar con un ángulo distinto a la perpendicular al elemento constructivo e incluso desde varios ángulos laterales.

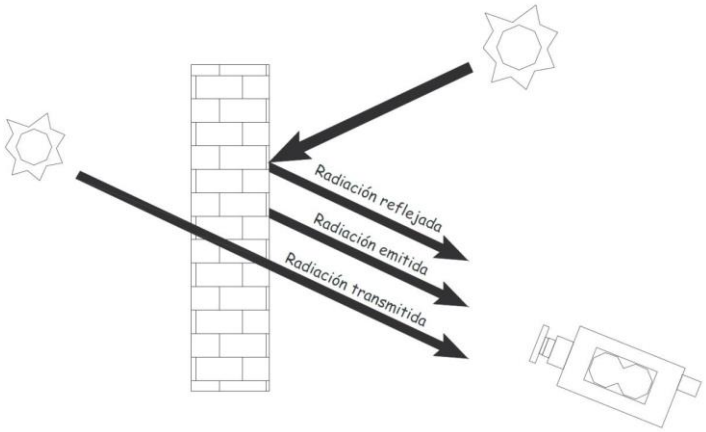


Fig. 359. Fuente: Inspección termográfica de fachadas de edificios (DE LA PUENTE y RODRÍGUEZ, 2004: 206-214).

Los termogramas obtenidos son ordenados para conformar una textura completa de la fachada, libre de deformaciones propias de vistas en perspectiva. Para ello, se complementan unos con otros sin dejar zonas sin información termográfica. No obstante, el análisis particular de cada caso determinará si es necesario tomar los valores de superficie de dicha composición total de la fachada, dado que por la irregularidad de los bordes de las anomalías térmicas puede ser aún más interesante obtenerlos directamente de la planimetría.

Fig. 360. Equipo termográfico colocado frente a la fachada Sur del Cenador de Carlos V. Enero 2013.

Es conveniente disponer de una imagen térmica global de la fachada, con vistas a una mejor y más directa interpretación de los cambios en la tonalidad. Pero conociendo la tipología constructiva del Cenador, con cuatro galerías perimetrales sustentadas de columnas que nos dificultan una vista frontal limpia en cada toma, decidimos finalmente que no procedía un montaje completo de todas las ortofotos. Sabiendo en que sector se localizaba la patología, sólo había que implantar la toma termográfica concreta para contrastarla con la textura asociada a la superficie del elemento incorporado en el modelo BIM.

8.8.1.2. Recomendaciones para la presentación de las imágenes termográficas

Para obtener unos datos fiables y definitivos a interpretar es necesario llevar a cabo un proceso de variación de determinados parámetros, tales como los siguientes:

- Modo de visualización: existen varios modos según los colores mostrados, como son los colores brillantes (gama de colores típica de los termogramas), hierro (desde el negro hasta el blanco, pasando por morados y naranjas), hierro caliente (desde el negro hasta el blanco, pasando por marrones y dorados), monocromo (escala de grises), entre otros.

  El modo de visualización que finalmente se ha empleado en el modelo del Cenador ha sido hierro positivo, puesto que si se dispone de menor cantidad de colores en la escala de la imagen resulta menos complicado interpretar las variaciones térmicas.

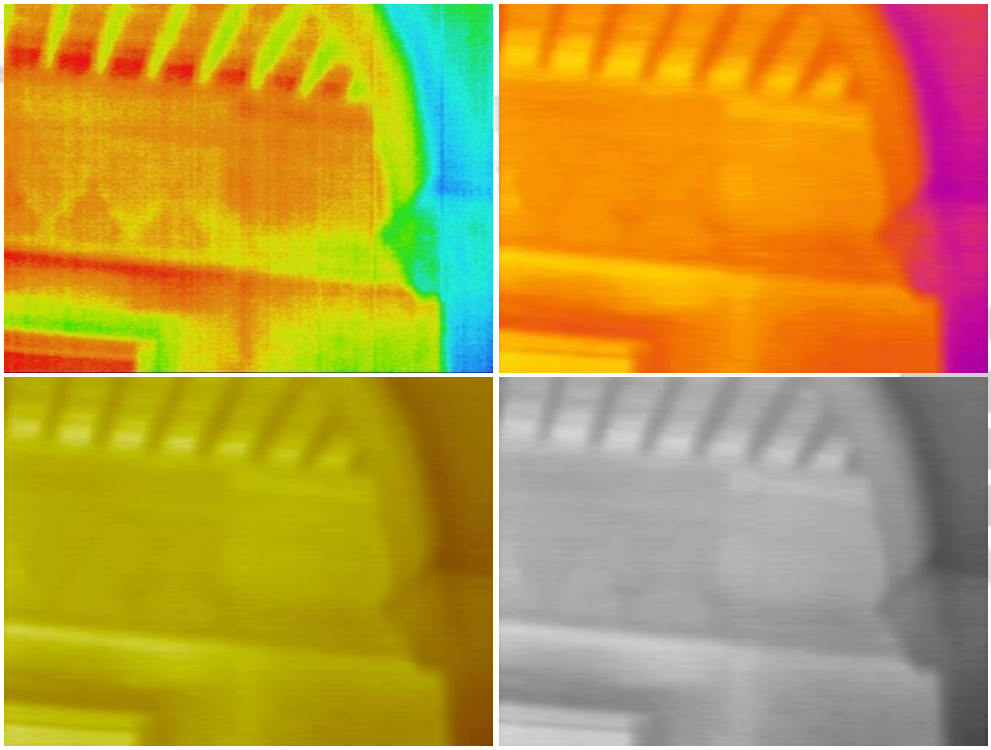


Fig. 361. Diferentes modos de visualización termográfica: de izquierda a derecha y de arriba a abajo: brillo, hierro, hierro caliente y monocromo (todos en positivo). Fuente: ANTON, 2013:65.

- Resolución del modo de visualización: la profundidad del color se mide en bits por píxel (bpp) y está asociada a un número determinado de colores en función del número de bits disponibles. Así, las potencias en base 2 de bits se corresponden con 8, 16, 32, 64, 128 y 256 colores. A medida que se vaya aumentando la cantidad de tonos, la imagen es más gradual y permite una identificación de zonas coloreadas más pormenorizada.

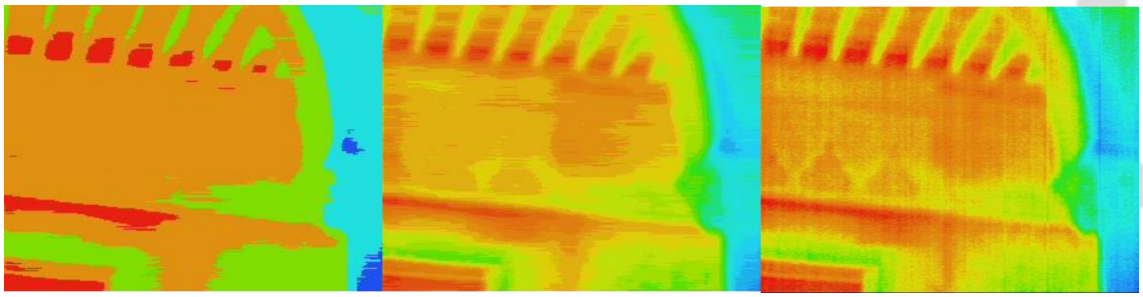


Fig. 362. Fachada Sur del Cenador de Carlos V, Real Alcázar de Sevilla. Visualización termográfica: de izquierda a derecha: 8, 32 y 256 colores. ANTÓN, 2013:66.

La cantidad de colores que se ha utilizado es 256 para tener mayor nivel de detalle en los termogramas.

- Escala de colores en función de la temperatura de la imagen: se tiene que adaptar la escala para conseguir unos colores apropiados y así evitar un contraste excesivo entre elementos, como la aparición de negros y blancos (mínimas y máximas temperaturas, respectivamente).

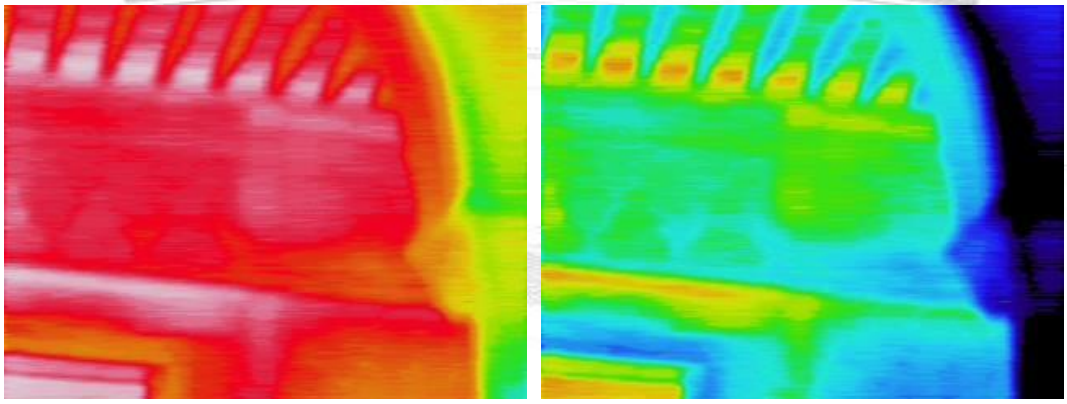


Fig. 363. Visualización termográfica: de izquierda a derecha: blancos y negros. Fuente: ANTON, 2013:66.

En la medida de lo posible se han ajustado los valores de temperatura igualmente en todos los termogramas para disponer de unos colores similares. No obstante, con la aparición de elementos muy reflectantes o excesivamente fríos como el cielo, dichos valores se variaron para seguir manteniendo aproximadamente las tonalidades deseadas.

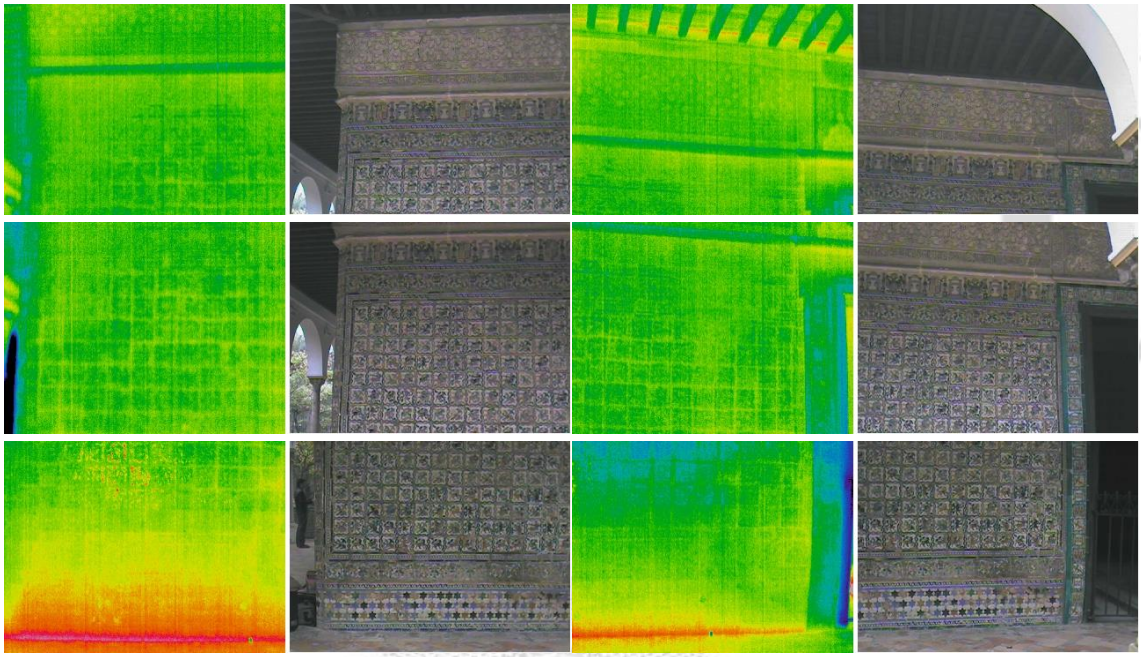


Fig. 364. Sesión termográfica. Sector izquierdo de la fachada Sur del Cenador de Carlos V. Enero de 2013.

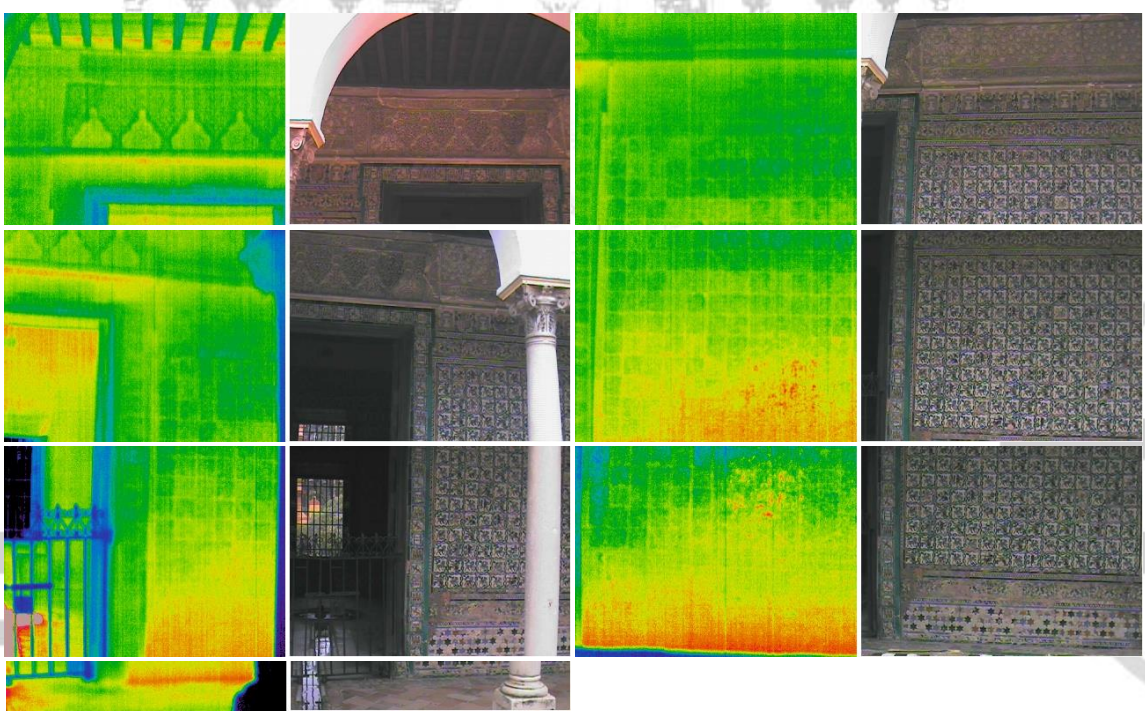


Fig. 365. Sesión termográfica. Sector central de la fachada Sur del Cenador de Carlos V. Enero de 2013.

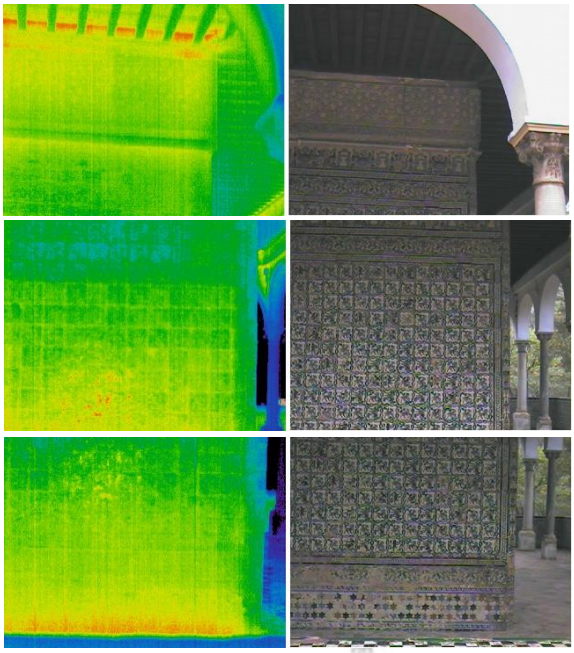


Fig. 366. Sesión termográfica. Sector derecho de la fachada Sur del Cenador de Carlos V. Enero de 2013.

8.8.1.3. Vinculación de la información termográfica al modelo BIM

Entraríamos ahora en una nueva fase donde vincularemos las imágenes temográficas a los sectores descriminados, dentro de los elementos del modelo BIM que hemos clasificado con afecciones patológicas. Las termografías tomadas quedarán distribuidas de la forma establecida en el apartado anterior, en una matriz de cuadros, para abarcar la totalidad de la fachada, aunque para reducir el procedimiento repetitivo nos hemos centrado únicamente en los deterioros más evidentes. Como comentamos en el apartado anterior, por motivo de la proximidad del pórtico de la galería a la fachada inspeccionada, no se han realizado tomas frontales más generales y reducir así la matriz de imágenes que cubrirá toda la fachada. El montaje en una única imagen compositiva nos llevaría un largo tiempo, que hemos visto innecesario para el caso en estudio. La termografía tiene como fin último detectar las posibles causas del abombamiento del paño de azulejos de la fachada Sur, concretamente en su adosamiento a la jamba izquierda de la puerta.

El procedimiento empleado ha sido similar al utilizado para el mapeado de los muros alicatados. Las imágenes térmicas, una vez convertidas en ortofotos, deberán acoplarse a las texturas que envuelven los muros. El primer paso sería crear una biblioteca de superficies termográficas que incorpore como textura la fotografía orto-restituida. En la Fig. 229 se muestra la Superficie creada denominada *Termografía Azulejos (SI-Central),* mostrando la ortofoto asignada como textura (de dimensiones 1,784 x 1,474).

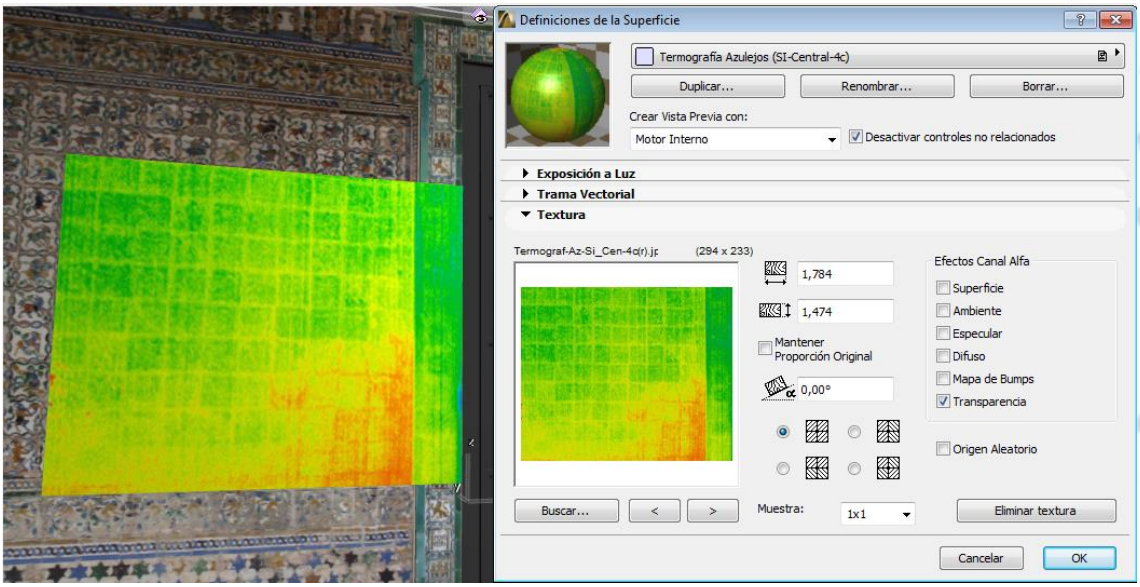


Fig. 367. Vista del sector con abombamiento de la fachada Sur del Cenador. En las definiciones de Textura de la Superficie creada, *Termografía Azulejos (SI-Central)*, se muestra el termograma ortorestituido asociado.

También debemos crear nuevos elementos que revistan el muro para incorporarle la termografía. Como anteriormente en nuestro modelo utilizamos láminas (realizadas con la herramienta Forma) para la envolvente exterior, que incorporaban las texturas de los paños alicatados, duplicaremos las mismas para asociarles ahora las imágenes térmicas.

Estas nuevas superficies se incorporarán en una capa exclusiva, que hemos denominado *Termografías*. Antes se deberá etiquetar y categorizar cada sector para su perfecta identificación, empleando un *ID* exclusivo que determine principalmente su orientación y ubicación. Y rellenar adecuadamente los ítems de *Posición* y *Clasificación*. En la figura siguiente se ha identificado el termograma como *Temograf-Sur_IC*, con una posición *Exterior* y una clasificación de *Envolvente*. También podríamos rellenar el Estado de Rehabilitación adecuado, debiendo coincidir con el asignado al elemento que incorpora la textura del alicatado. De este modo nos permitirá gestionar la información termográfica en cuanto a visualización y generación de listados de datos.

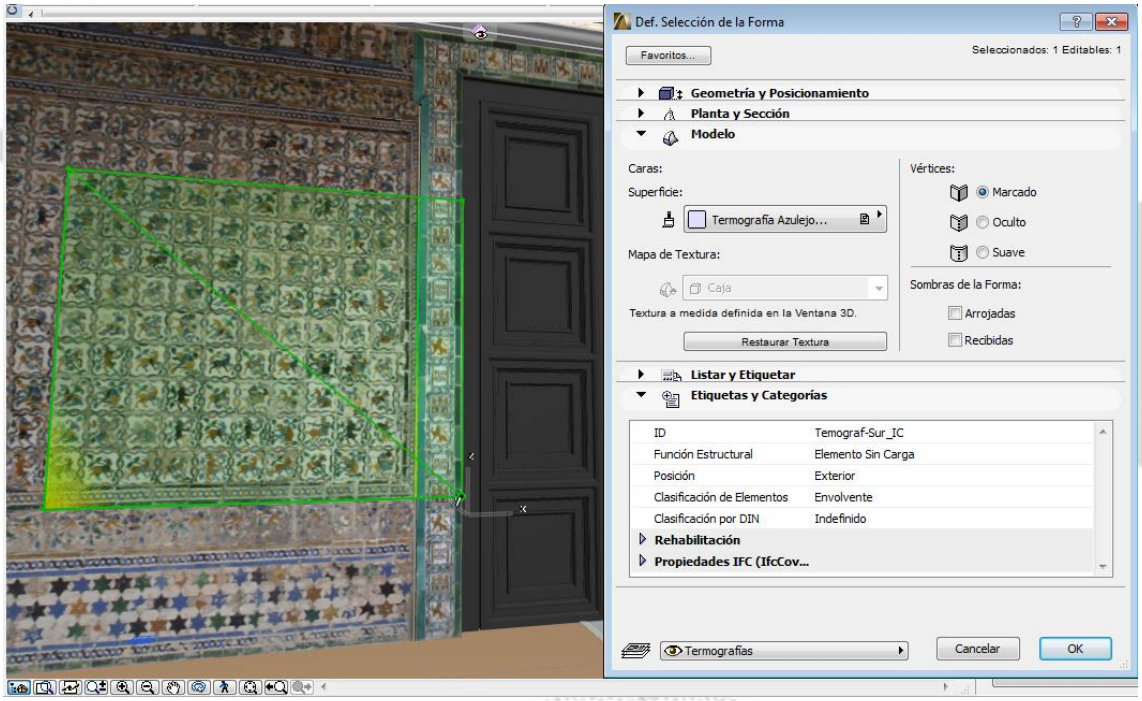


Fig. 368. Selección de la Forma que incorpora el termograma. En el apartado Etiquetas y Categorías se debe rellenar los items adecuadamente para una correcta identificación en los listados de datos.

Se crearán vistas exclusivas donde estará visible la nueva capa, mostrando así una comparativa de imágenes: la que percibe el ojo humano y la que contiene el termograma.

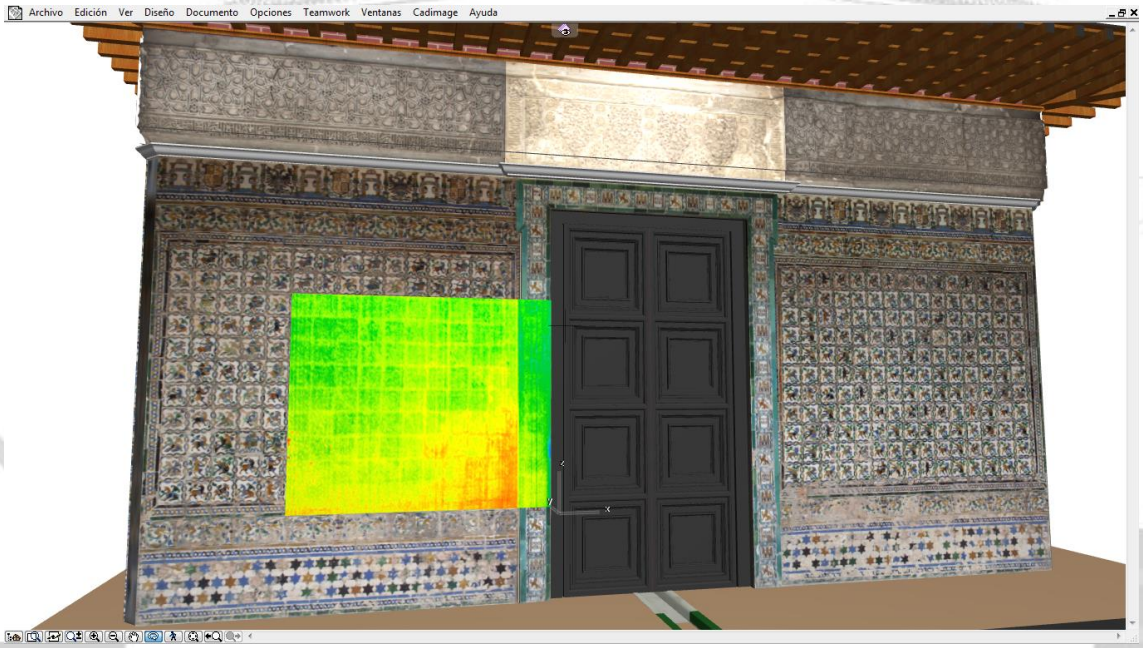


Fig. 369. Vista de la fachada Sur del Cenador mostrando un sector con la termografía. La tonalidad anaranjada se hace más intensa a medida que el abombamiento se incrementa.

Pero el objetivo es poder realizar una comparativa con la textura real, la que muestra las patologías percibidas. Para conseguirlo, hemos editado cada Superficie termográfica y le hemos asignado un valor adecuado en transmitancia para que muestre un efecto de transparencia. Con un valor de 25 sobre 100 conseguimos una imagen traslucida que posibilita visualizar la textura del azulejo

sin que se deteriore el termograma. El resultado queda bien expuesto en la figura siguiente.

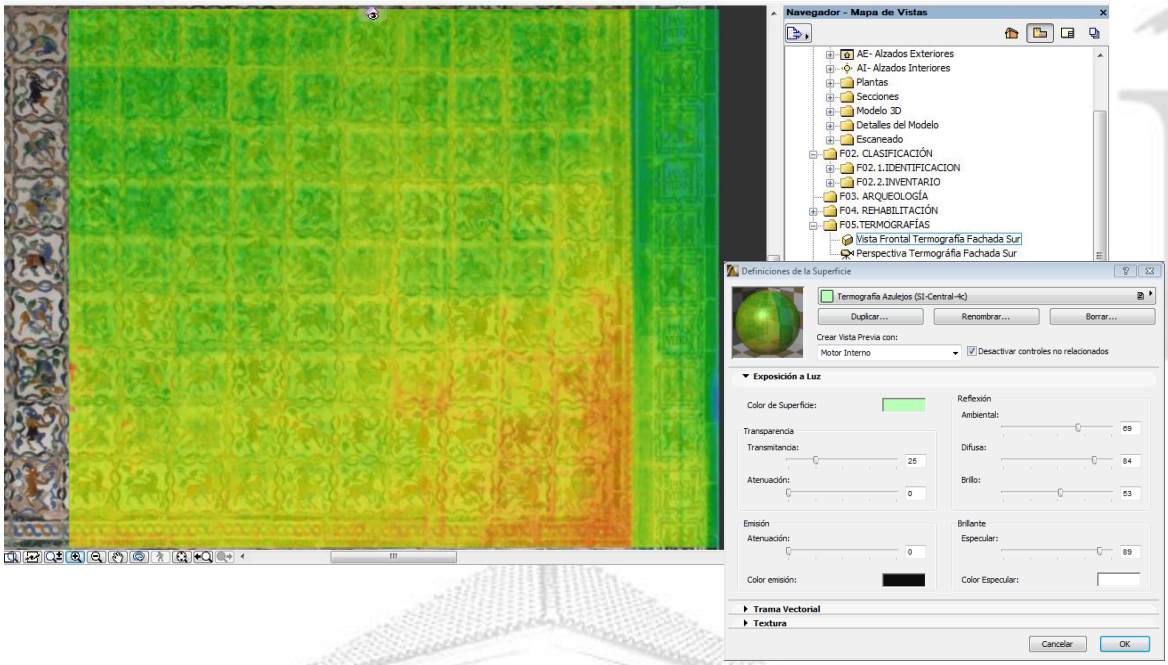
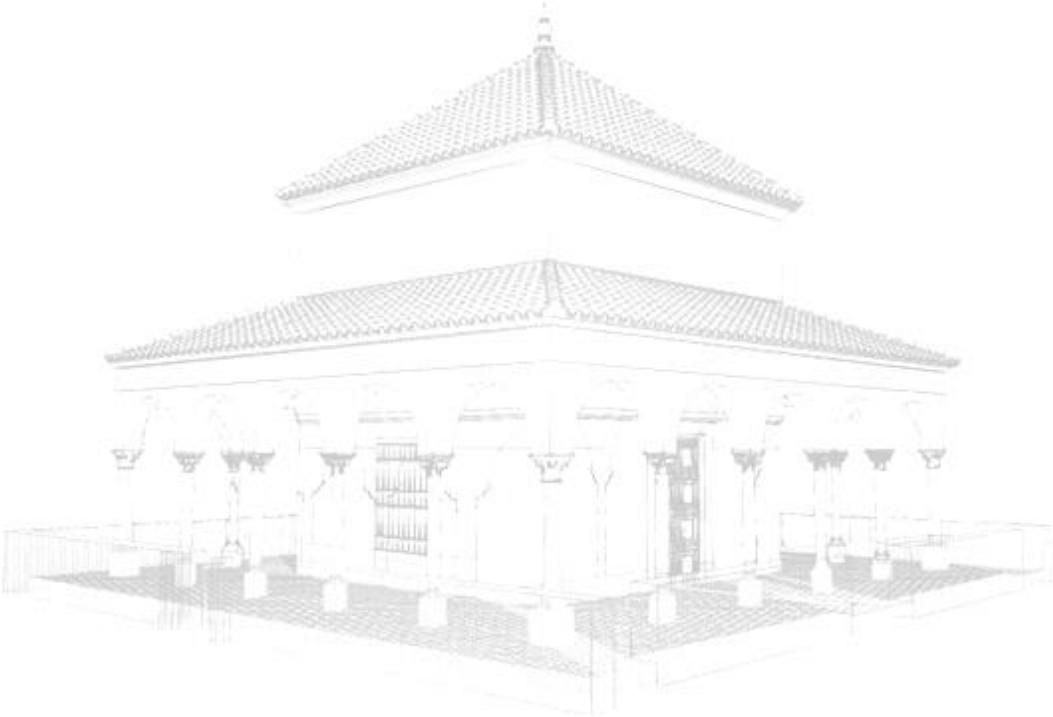
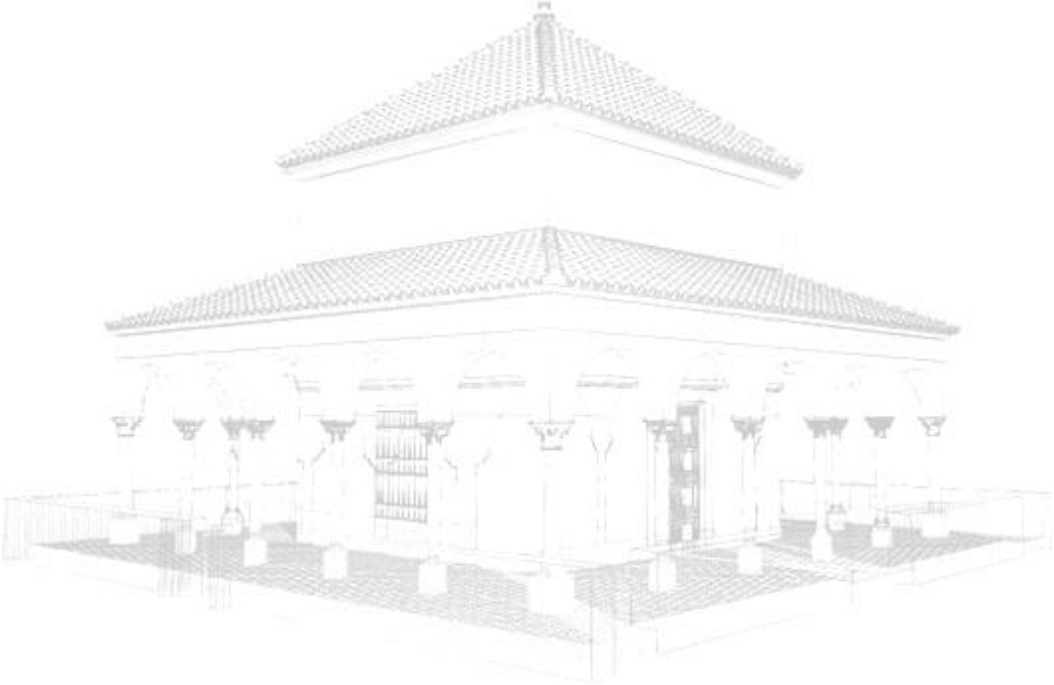


Fig. 370. Vista frontal del sector con abombamiento de la fachada Sur. A la ortofoto de la imagen térmica se le ha aplicado un valor de 25/100 de Transmitancia para permitir una comparación con la textura inferior (la que nos ha servido para el mapeado de los revestimientos exteriores).



Capítulo 9

GESTION DE LA INFORMACIÓN DEL MODELO PARA UNA REHABILITACIÓN



9. GESTION DE LA INFORMACIÓN DEL MODELO PARA UNA REHABILITACIÓN

9.1. Organización de la información generada en el modelo

Desde el momento en que se inicia la labor de construcción del modelo virtual, es imprescindible establecer una organización de la información siguiendo unos protocolos prestablecidos para una transmisión de la misma a las disciplinas colaborativas. Se hace obligatorio un programado y estructurado procedimiento de actuación desde el mismo instante en que se germina la idea –boceto/croquis-. La estructuración de los trabajos se dividirá en diferentes fases, planteadas según el tipo de intervención y las características de la edificación, que se deberán encadenar una tras otra hasta la consumación de los objetivos planteados en el inicio. Esta etapa debe extrapolar la fase proyectual, para confeccionar un modelo con información estructurada que permita su gestión y su traslado a las diferentes disciplinas a intervenir, tanto en la redacción como en la ejecución, y que promoviese el trabajo interdisciplinar evitando interferencias e imprevisiones.

Está bastante asumido que el uso de archivos con proyecciones bidimensionales se hace insuficiente para que el trabajo fluya sin olvidos ni malas interpretaciones entre el proyectista y los especialistas. Si nuestros objetivos van orientados a buscar una maqueta virtual con elevados detalles en texturas de acabados, obtendremos únicamente un modelo gráfico que puede valer para interpretar virtualmente el hecho arquitectónico y su mejor entendimiento por parte del cliente. Sin embargo, será poco efectivo científicamente al no facilita el flujo de información esencial entre las disciplinas participativas en función de sus prioridades técnicas. Así, puesto que la información esencial demandada por cada especialista es diferente, ésta debe ser filtrada antes de su transmisión desde el diseñador.

El diseñador o arquitecto está generando el modelo arquitectónico a la vez que construye virtualmente el edificio y necesita modelar toda la estructura, desde el núcleo estructural hasta el acabado final de toda unidad portante. Por ello, en el proceso de modelado tendremos que considerar el montaje progresivo de todos los elementos intervinientes según el ciclo evolutivo del edificio. La elaboración de la maqueta virtual habría que estructurarla como un verdadero proceso constructivo, que iniciada en la base o cimentación se finalizará en la cumbre de la cubierta.

Fig. 371. Perspectiva suroeste del modelo completo del Cenador de Carlos V. Software ArchiCAD. Autor: Enrique Nieto. 2013.

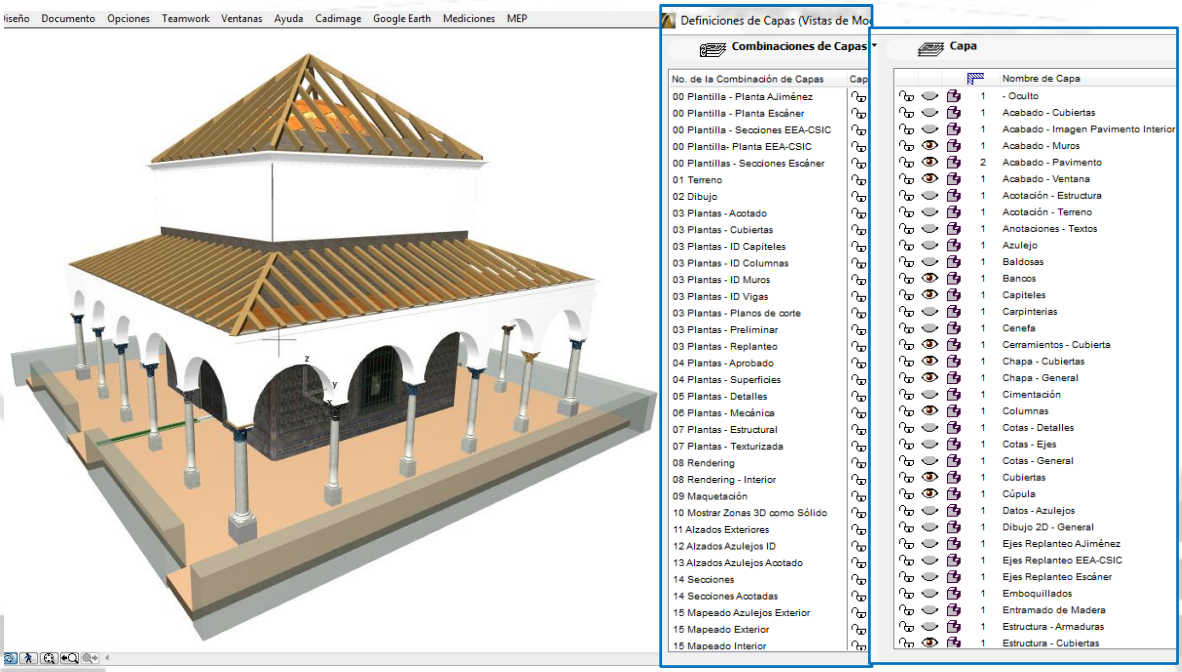


Fig. 372. Imagen del modelo estructural del Cenador de Carlos V controlando la visualización de capas.

Pero una intervención en un edificio patrimonial lleva consigo otros matices, debido a que la evolución constructiva ha estado muy influenciada por sus avatares a lo largo de la historia. Es necesario pues realizar de inmediato una tarea de investigación previa al modelado, con recopilación de testimonios y documentos históricos que nos facilite una información real de la evolución del edificio. Esta fase suele ir acompañada con una labor de auscultación con promediadas catas plasmadas en sus elementos constructivos más relevantes.

Una de las mayores ventajas que nos proporciona el sistema BIM es que nos permite una progresiva evolución del modelo, enriqueciéndose con nuevos datos a medida que se van avalando las hipótesis de partida o se complementan con los recientes hallazgos en las prospecciones realizadas al edificio. Por ello, nos apoyaremos en una clasificación por categorías de los elementos representados en el modelo, constituyendo un pilar fundamental del proyecto HBIM, y que estará en constante evolución para que sirva de sustento a la posterior gestión de la información.

Esta clasificación deberá amoldarse a cada una de las disciplinas para que la información fluya sin obstáculos ni malas interpretaciones.

9.1.1. Clasificación de la Información del modelo HBIM

El uso de capas sigue siendo fundamental para organizar todos los elementos que se van insertando en el modelo y tenerlos agrupados por categorías. Aunque ArchiCAD predispone de un grupo de capas desde el inicio, en nuestro proceso de modelado hemos incrementado considerablemente éstas en función de las peculiaridades del edificio, dándole un nombre característico para identificar adecuadamente los elementos integrantes.

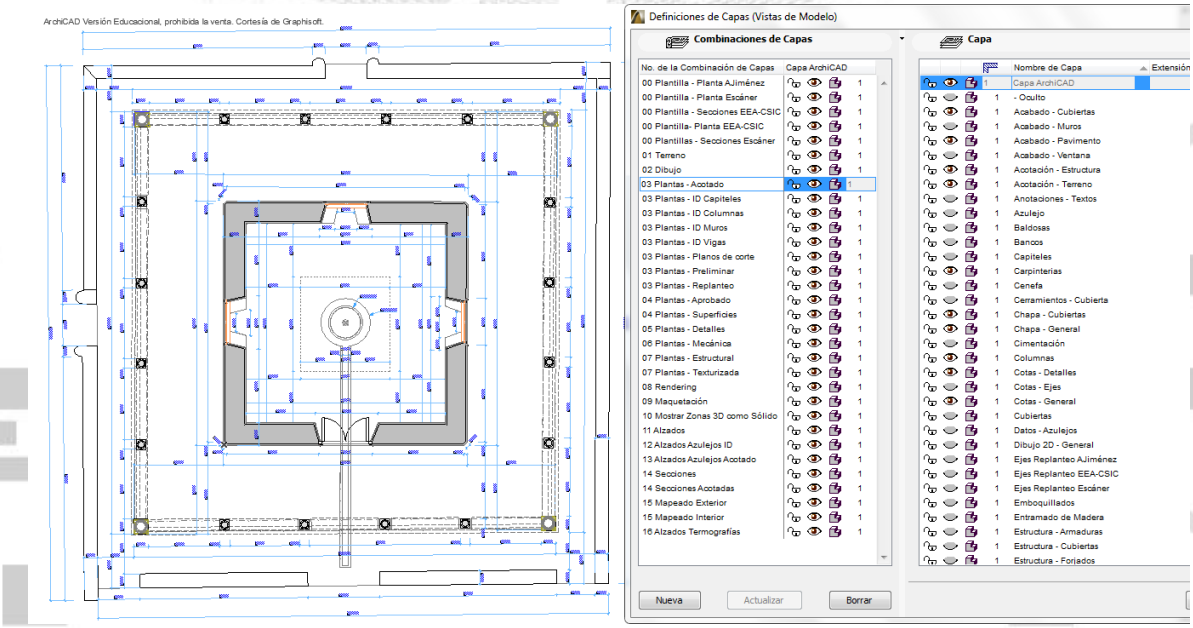


Fig. 373. Vista Planta Baja Acotada +1,50 filtrada con la combinación de capas *03 Plantas – Acotado.*

Las capas funcionan como simples contenedores de elementos que se han agrupado por igualdad de sus características dimensionales, materiales o por su misma función estructural/constructiva dentro del edificio. En cambio, a veces es necesario dentro del mismo grupo discriminarlos por su posición espacial o destacar particularidades detectadas en algunos; como por ejemplo, distinguir adosamientos diferentes en los muros o diferenciar alteraciones continuadas en la evolución histórica del edificio.

Para gestionar la representación gráfica del modelo BIM confeccionamos Combinaciones de Capas específicas para crear las vistas, que nos permitiría filtrar los elementos contenidos en las capas: objetos paramétricos, cotas, etiquetas y marcas 2D (Fig. 373).

9.1.2. Identificación de elementos constructivos del modelo HBIM

En los modelos de experimentación expuestos se ha procedido a una identificación de cada objeto paramétrico inserto, tanto estructural como decorativo[207], al que se le aplicó un ID característico, que fue numerado para el caso de variaciones posicionales o de sus dimensiones básicas[208].

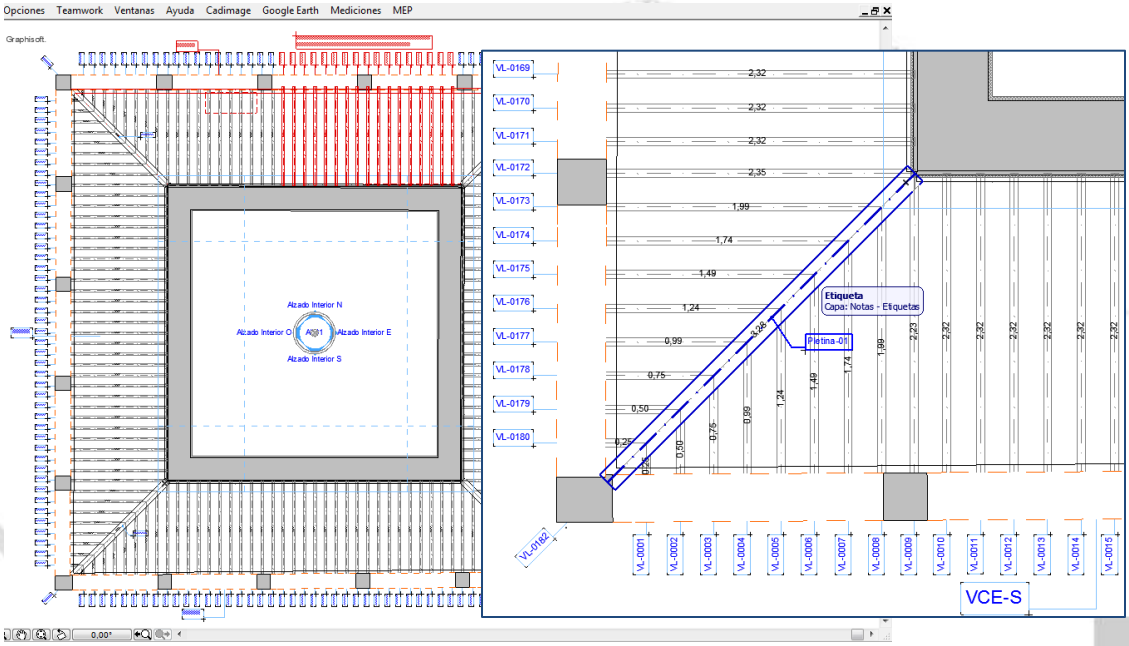


Fig. 374. Planta de las vigas de los techos de las cuatro logias, identificadas con una etiqueta que muestra el ID.

El campo ID está ubicado en el panel de *Etiquetas y Categorías* de cada herramienta de elementos de construcción al igual que las herramientas de

[207] Este procedimiento nos ha llevado a una clasificación por familias de todos los objetos paramétricos: muro, pilar, forjados, vigas, arcos, bóvedas, puertas, ventanas, y objetos arquitectónicos diversos como columnas, cornisas y remates.

[208] ArchiCAD incluye por defecto un número en el campo de ID. De este modo, al dibujar elementos consecutivos se incrementará uno al número anterior (siempre que la casilla *Incremento Automático del ID* esté activada en el diálogo Opciones > Entorno de Trabajo > Más opciones). Si no hay un número en el campo de ID, cada nuevo elemento del mismo tipo tendrá el mismo ID.

Trama y Zona. Este ID nos ha servido para identificar y agrupar elementos en los esquemas y listados confeccionados para el inventariado. Pero también hemos querido que quedasen expuestas en las vistas sacadas del modelo mediante un etiquetado visible (Fig. 374).

En el navegador del proyecto HBIM creamos la carpeta *Identificación* para agregar las proyecciones 2D del modelo Cenador que mostraban las etiquetas identificativas de los elementos por familias o sistemas constructivos (Fig. 375). En la planimetría anexa a la memoria del proyecto de tesis incorporamos una sección de planos montados con las anteriores vistas, junto al listado de los elementos etiquetados.

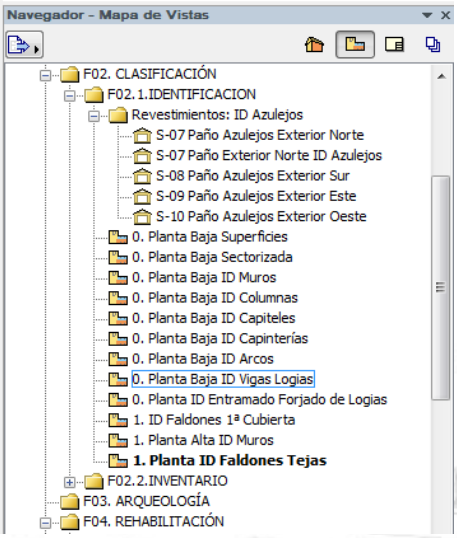


Fig. 375. Vistas 2D (alzados y plantas), sacadas del modelo del Cenador, incorporando etiquetas con el ID de los elementos filtrados.

9.2. Filtrado para un buen intercambio de información

Para mostrar la información del modelo por etapas de evolución histórica o constructiva del edificio debemos realizar un proceso de filtrado. Acudimos, para ello, a unas herramientas específicas del software ArchiCAD que basándose en una clasificación previa de los elementos (tipología, función estructural, posición, estado de rehabilitación), facilitan un intercambio de la información gráfica entre los agentes del equipo multidisciplinar.

9.2.1. Visualización parcial de la estructura de los muros

En este estadio juega un papel importante los elementos "constructivos" integrantes del modelo de información. Todos los muros, pilares, forjados, vigas y cubiertas insertadas en el modelo incorporarán una o varias texturas al asociarles un material de acabado en cada cara (interior, núcleo o lateral y exterior). En el caso de mostrar el modelo en su *estado existente*, la visualización debería

recoger las texturas externas. En cambio, en la fase de intervención los materiales mostrados deberán ser los contenidos en el interior del elemento o *nucleo*.

En esta nueva etapa, aplicamos por su idoneidad el asistente de *Visualización parcial de la estructura* de ArchiCAD para mostrar u ocultar los componentes complejos o compuestos del modelo de La Cárcel. De esta manera filtramos información por distintas vistas para mostrar las diferentes fases de la intervención: *modelo completo, sin acabados, sólo núcleo* o con *núcleo de los elementos de caga solamente*[209]. En las dos figuras siguientes mostramos primero el alzado de la fachada este de la cárcel de la RFT con sus paramentos revestidos, y en una segunda la misma fachada falta de los acabados.

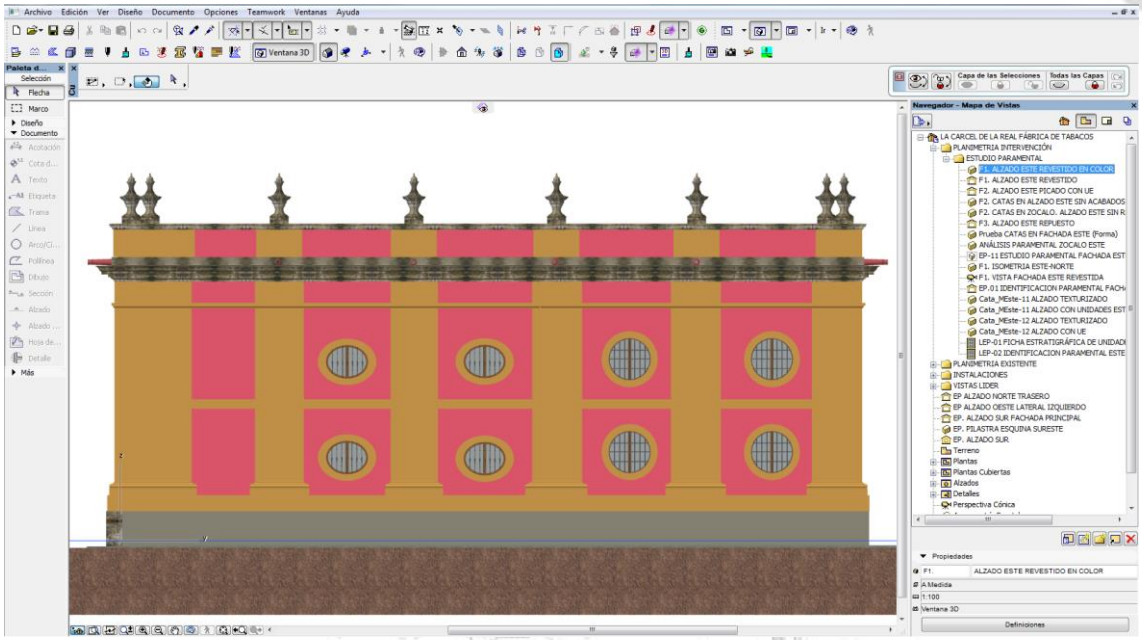


Fig. 376. Visualización Completa de elementos. Se muestra el material asociado para la cara exterior del muro. Fachada este de la Cárcel de la Real Fábrica de Tabacos de Sevilla.

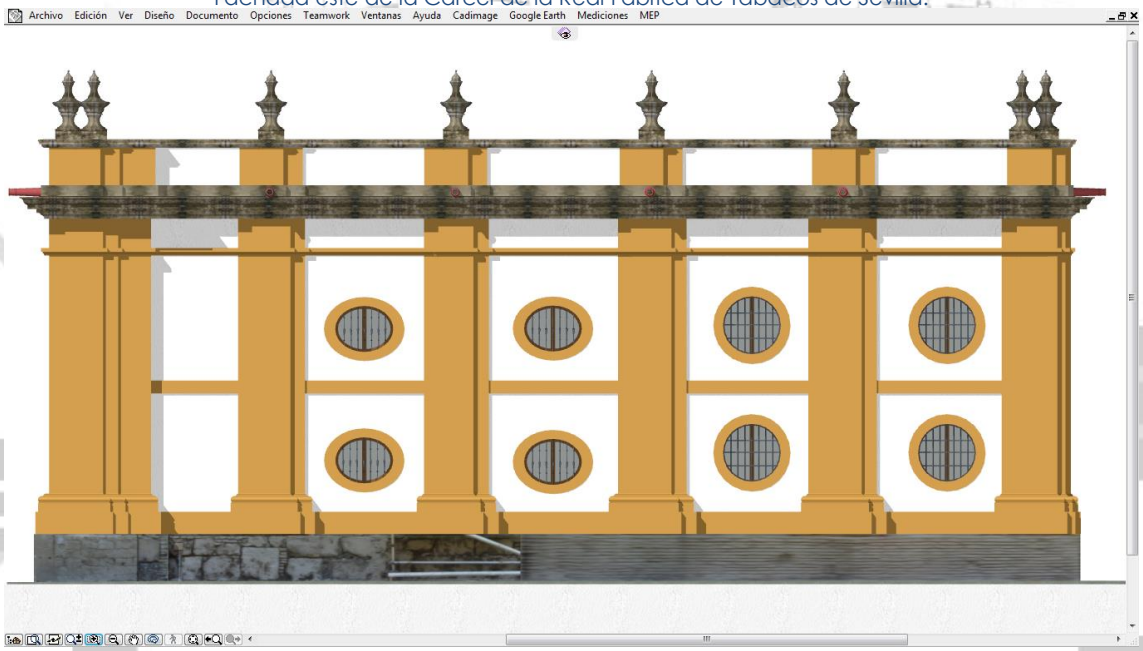


Fig. 377. Visualización Sin Acabados del modelo falto de los componentes definidos como acabado en muros. Los muros muestran el revestimiento sin pintura y el zócalo de la fachada Este las texturas una vez picado.

[209] 6.1.2.2. Visualización Parcial de Elementos Compuestos

Nos centraremos en el pedestal de la esquina sureste del modelo anterior para explicar de forma desmenuzada el procedimiento seguido. Partimos de que ya hemos definido la textura en ortoimagen asociada a cada elemento *muro* del zócalo, en número igual a las catas practicadas (Fig. 378, Fig. 379).

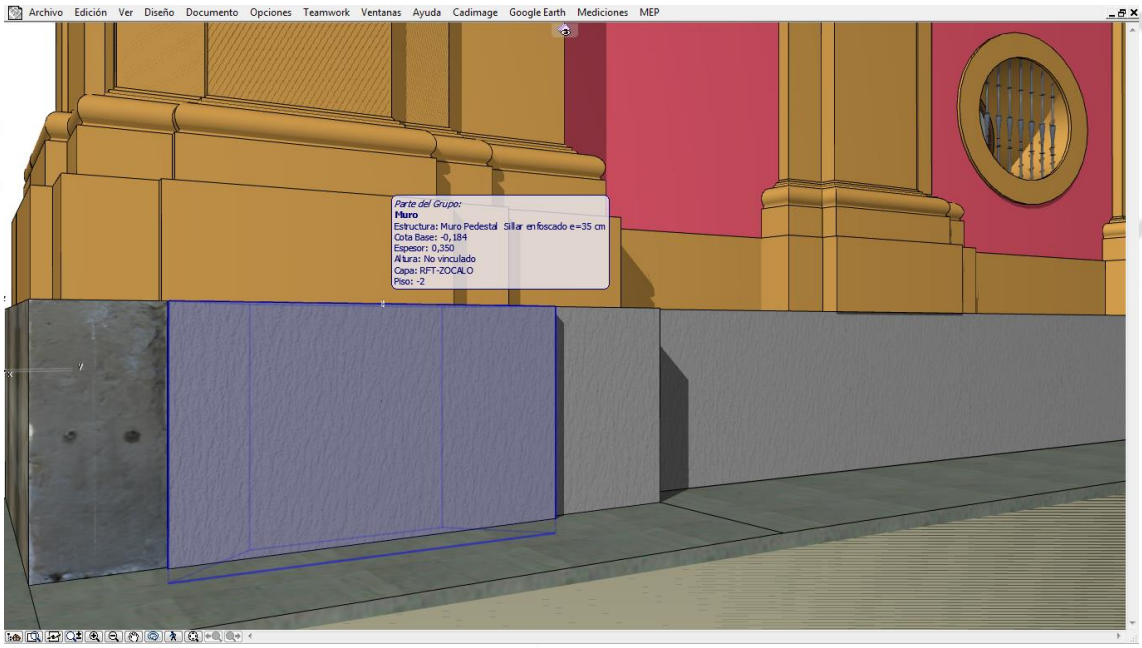


Fig. 378. Perspectiva del zócalo este revestido de la Cárcel de la RFT de Sevilla. Elaboración propia.

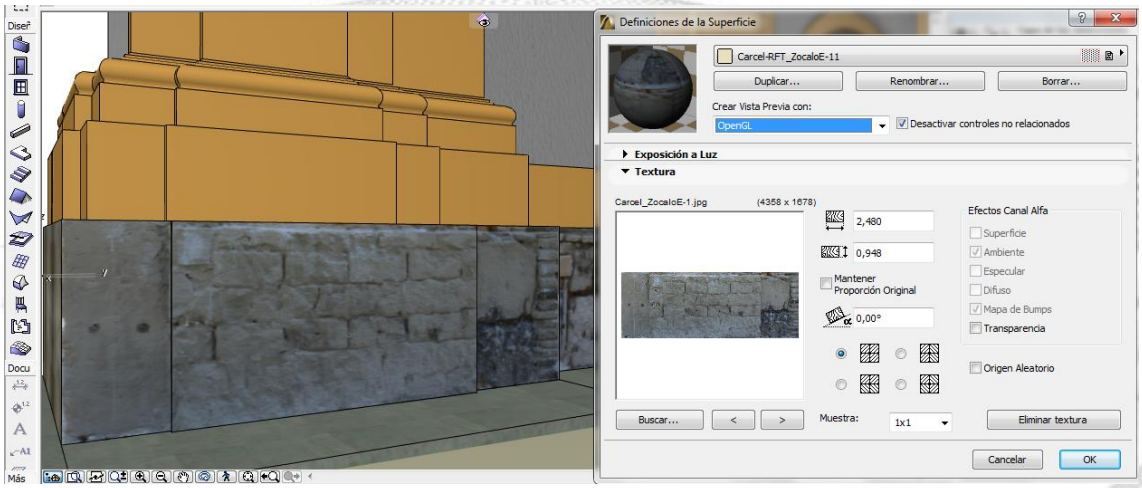


Fig. 379. Definición de la textura de la superficie asociada a los muros del pedestal Este. Software ArchiCAD.

Para la visualización texturizada del muro, en el apartado de definiciones *Modelo* especificamos los materiales para sus tres caras, asignando a la lateral o núcleo la nueva superficie creada para la cata del zócalo (Fig. 380).

Hasta aquí, entonces, la asignación de mapas a las superficies (exterior, interior y lateral) es independiente de la estratificación del muro. Pero si queremos representar los materiales de sus fracciones interiores, entonces necesitamos otro método para incorporarle las demás texturas.

Desde que se inicia el modelado es habitual emplear una estructura básica por trama simple o *básica* para cada sector del muro cuando no se tiene información de su composición. Cuando las indagaciones y catas nos

proporcionen datos firmes es cuándo tendremos que sustituirla por la estructura compuesta, sin que sufra desviación su espesor inicial ya que fue adquirido en la fase de medición del edificio.

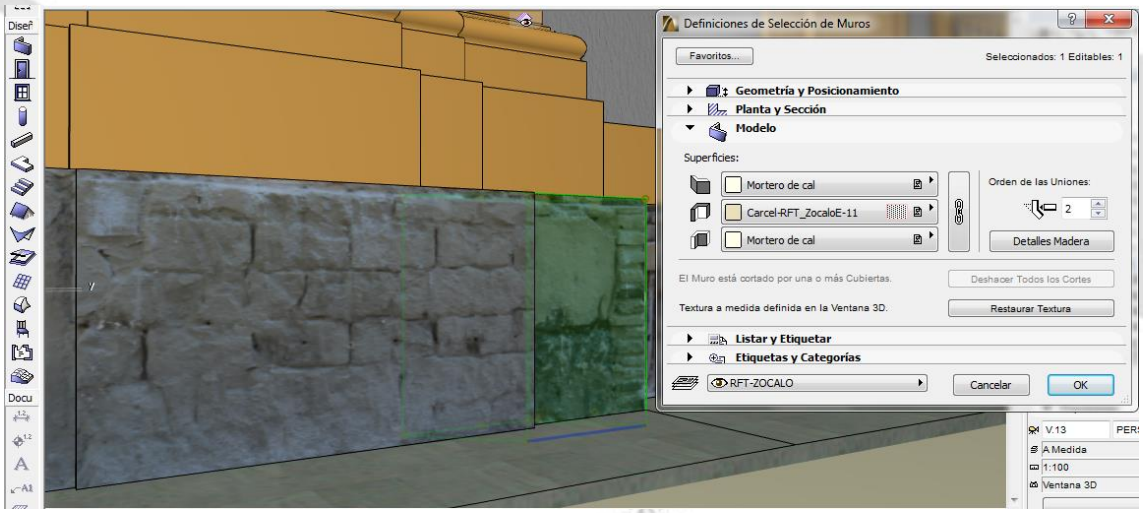


Fig. 380. Asignación de las superficies a las caras del muro seleccionado.

Así pues, para gestionar la visualización gráfica del modelo comenzamos a confeccionar unas estructuras compuestas de fracciones con tramas vectoriales y materiales propios, y les asignamos a cada una la categoría o *tipo* dependiendo de su posición o funcionalidad. Para el modelo expuesto sólo utilizamos dos capas: revestimiento exterior y núcleo (Fig. 381).

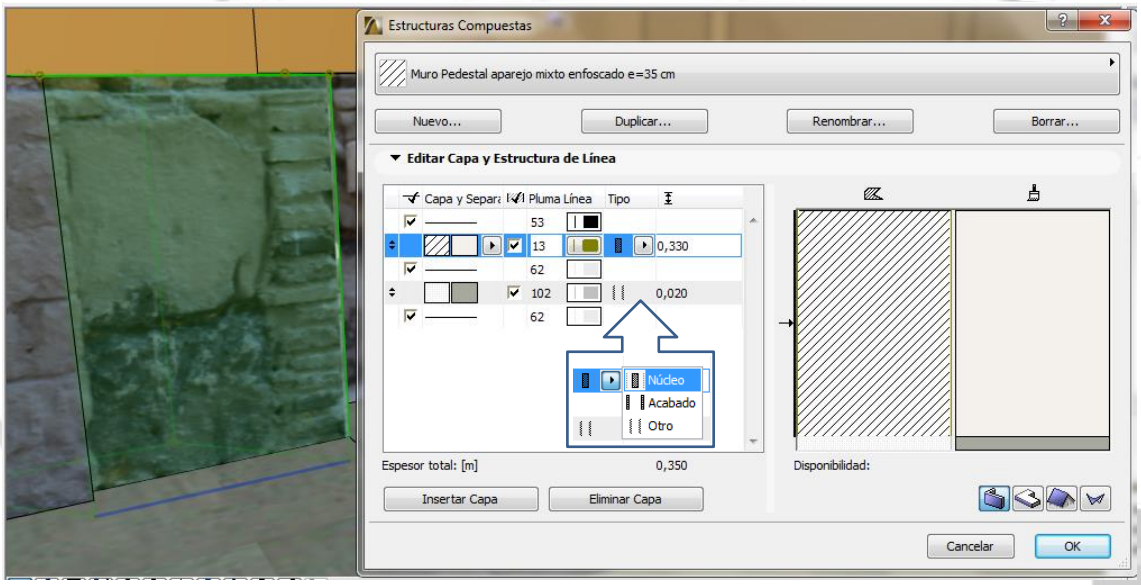


Fig. 381. Elección de la categoría (*tipo*) para cada fracción de la estructura compuesta del muro seleccionado: *Muro Pedestal aparejo mixto enfoscado e= 35 cm.*

Finalmente, filtramos todos los elementos estructurales y no estructurales utilizando el asistente de visualización parcial de los elementos compuestos: el tipo *núcleo* para las fábricas de muros y estructuras de forjados y cubiertas; el tipo *acabado*, donde incluimos los revestimientos finales, como enfoscados y estucados, y los decorativos, abarcando alicatados, artesonados de madera y falsos techo; y el tipo *otro*, donde se englobarían a aislamientos y morteros bases.

El modelo BIM muestra ahora una información gráfica derivada de las investigaciones acaecidas hasta ese momento, pero que podrá ser enriquecido por otras nuevas sin que suponga una desmembración de la estructura de datos.

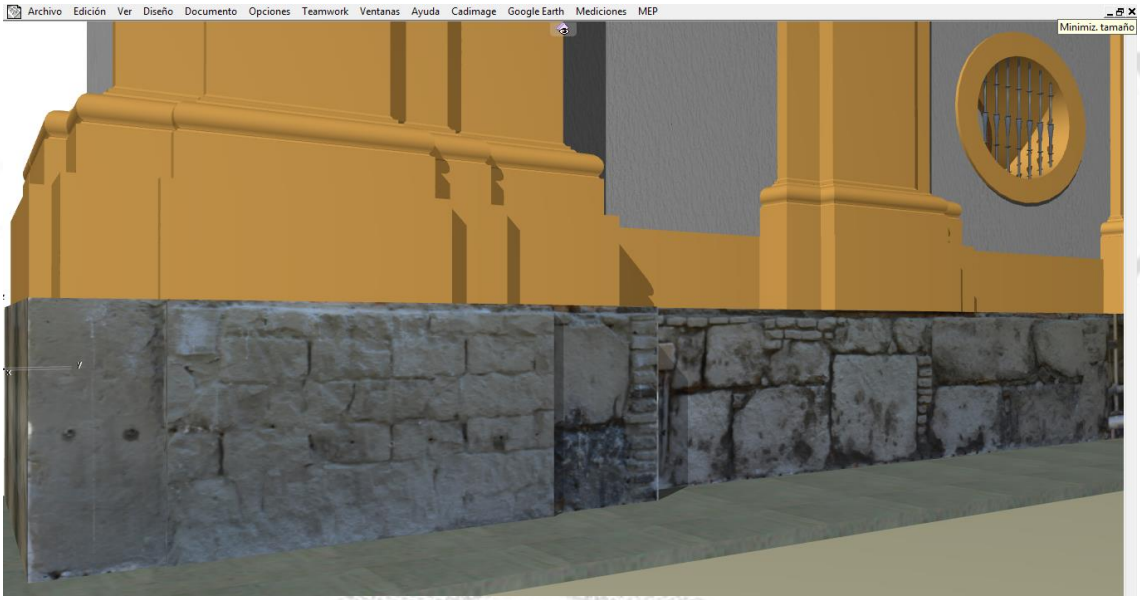


Fig. 382. Perspectiva *Sin Acabados* del zócalo este de la Cárcel de la RFT de Sevilla mostrando la textura del núcleo. Elaboración propia.

9.2.2. Visualización de las prospecciones para la lectura paramental

El asistente de *Visualización Parcial de la Estructura* de muros nos es util cuando el mapeado u ortofoto cubre totalmente la superficie expuesta del muro, pilar, forjado o cubierta, pero no cuando se han realizado catas dispersas en la superficie del muro interrumpiendo la textura global. En este caso, el procedimiento a aplicar conlleva que muros que inicalmente han sido incorporados en el modelo cubiendo varias plantas o crujías, deben ser partidos para incorporarles los nuevos materiales descubiertos. Labor que se complica enormemente cuando se interviene en ciertos edificios que congregan una cronología heterogénea debido a su dilatada evolución histórica.

Éramos conscientes de que las imágenes eran sectoriales y no cubrían todo el elemento *Muro* que se había introducido para la fachada en la primera fase de modelado. El *Muro* de ArchiCAD actualmente nos permite incorporar los mapas en sus caras, adaptándose a las dimensiones de sus superficies sin poder zonificar aisladamente, a no ser que se dividan en otras entidades. Así, para resolver el mapeado del zócalo Este tuvimos que partir en porciones el muro que cubría el ancho de toda la fachada, siendo la otra solución el montaje de las tomas fotográficas en una sola ortofoto (Fig. 383). Este último procedimiento fue el utilizado para los zócalos de las otras fachadas del modelo al estar los muros faltos de salientes o quiebros en los planos a texturizar.

Fig. 383. Montaje y orto-restitución de un lienzo con aparejo de ladrillos del zócalo Este picado.

Necesitábamos pues introducir otra técnica de filtrado para completar la funcionalidad del asistente de visualización parcial de la estructura de los elementos del modelo, sobre todo para mostrar las prospecciones puntuales. Además, para aplicar la lectura paramental, el nuevo procedimiento debía identificar las unidades estratigráficas y gestionarlas adecuadamente antes de relacionarlas en la matrix de Harris.

Como la intervención en los paramentos de la antigua Cárcel sólo nos había proporcionado unas catas parciales en las fachadas, decidimos que la técnica más adecuada era la incorporación de láminas a modo de revestimientos con las proporciones de cada cata, incorporando la ortofoto en su superficie expuesta, y adosarlas luego a los muros. Éstas las realizamos con la herramienta *Forma* de ArchiCAD, para aprovecharnos de su flexibilidad, como pudimos exponer en el capítulo 6 Análisis de aplicaciones[210].

La otra opción era la conversión de cada Muro del modelo (elemento empleado para todos los paramentos en el modelado inicial) en un nuevo elemento Forma, pero vimos esta técnica poco productiva. Con ella perdíamos el filtrado de los paramentos proporcionado por el asistente de visualización parcial de la estructura de muros.

Así pues, creamos tantas superficies como zonas abiertas en los paramentos exteriores. La imagen siguiente muestra las catas del muro orientado al Este (Fig. 384).

Después, introducimos todos los nuevos elementos en una nueva capa: *Catas en Muros,* para gestionarlos adecuadamente en el proyecto HBIM (Fig. 385).

Por último, sólo faltaba mostrar las superficies que se habían mapeado con la imagen rectificada de la prospección en el modelo BIM. El control de la visualización de las catas en el modelo BIM lo realizamos mostrando la fachada intervenida *Sin Acabados* y colocando visible la nueva capa de las catas (Fig. 386).

[210] 6.1.2.1. La herramienta Forma de ArchiCAD

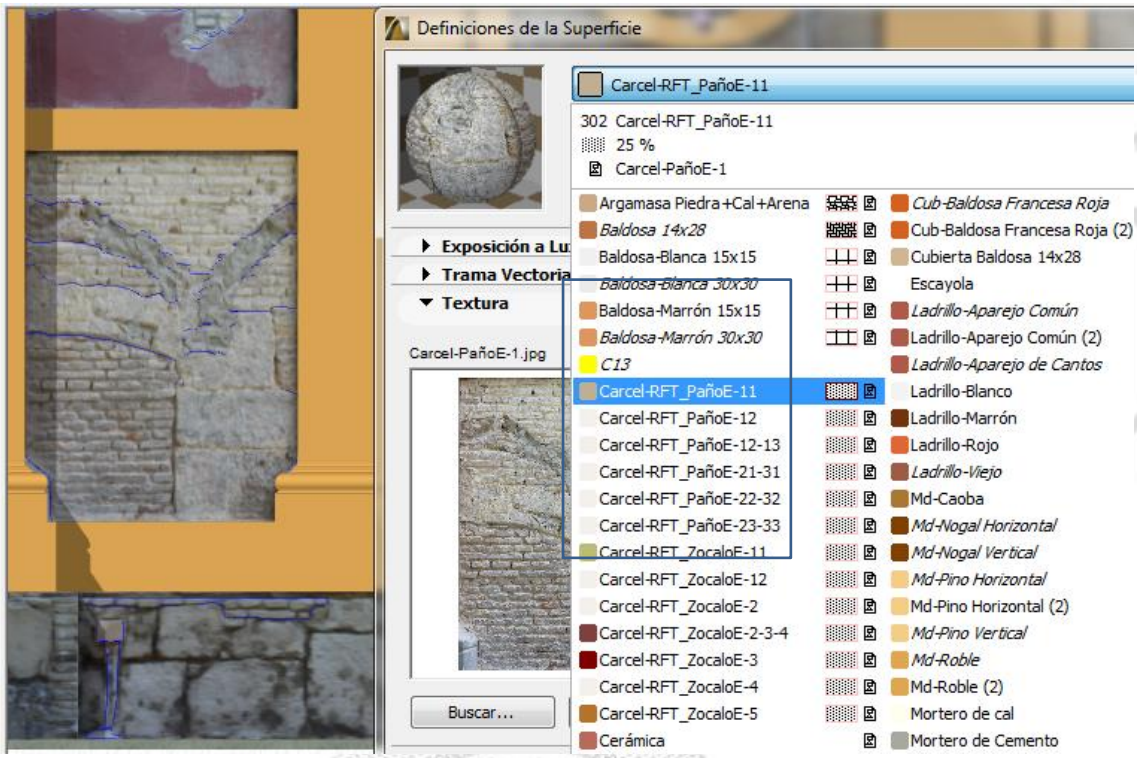


Fig. 384. Superficies creadas asociando la ortofoto a cada cata abierta en los paramentos Este.

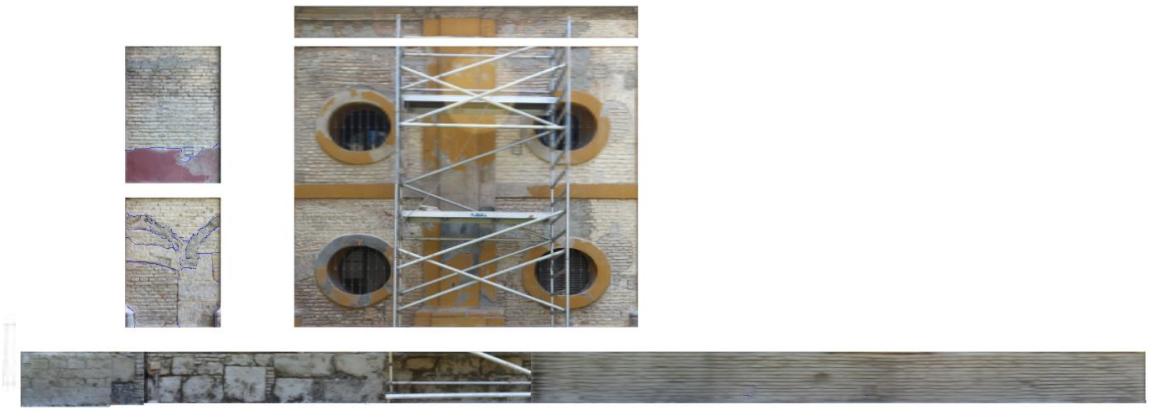


Fig. 385. Vista frontal filtrada de la fachada Este mostrando las catas mapeadas con su ortofoto.

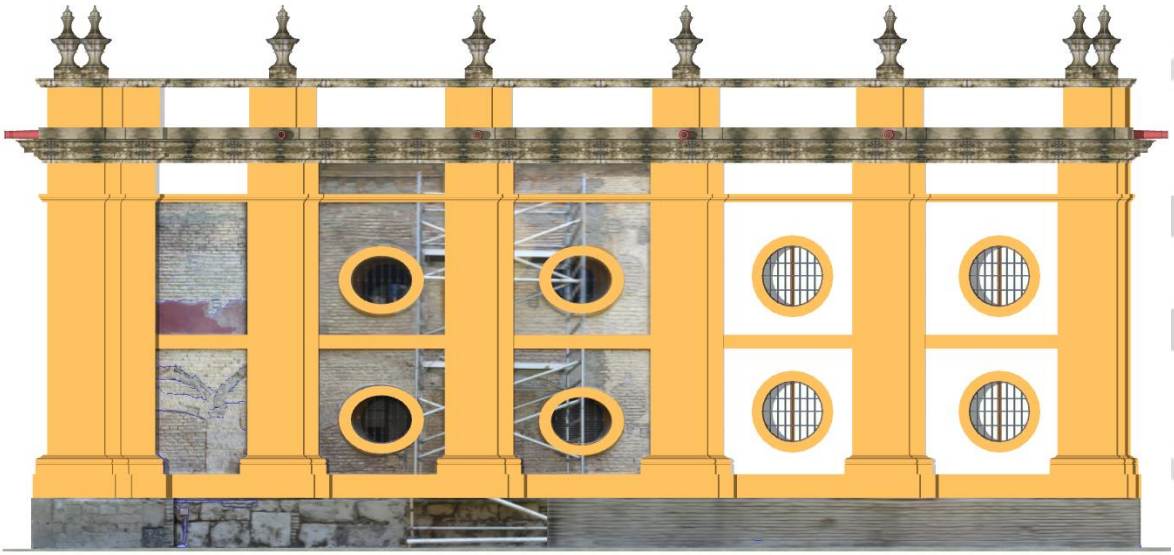
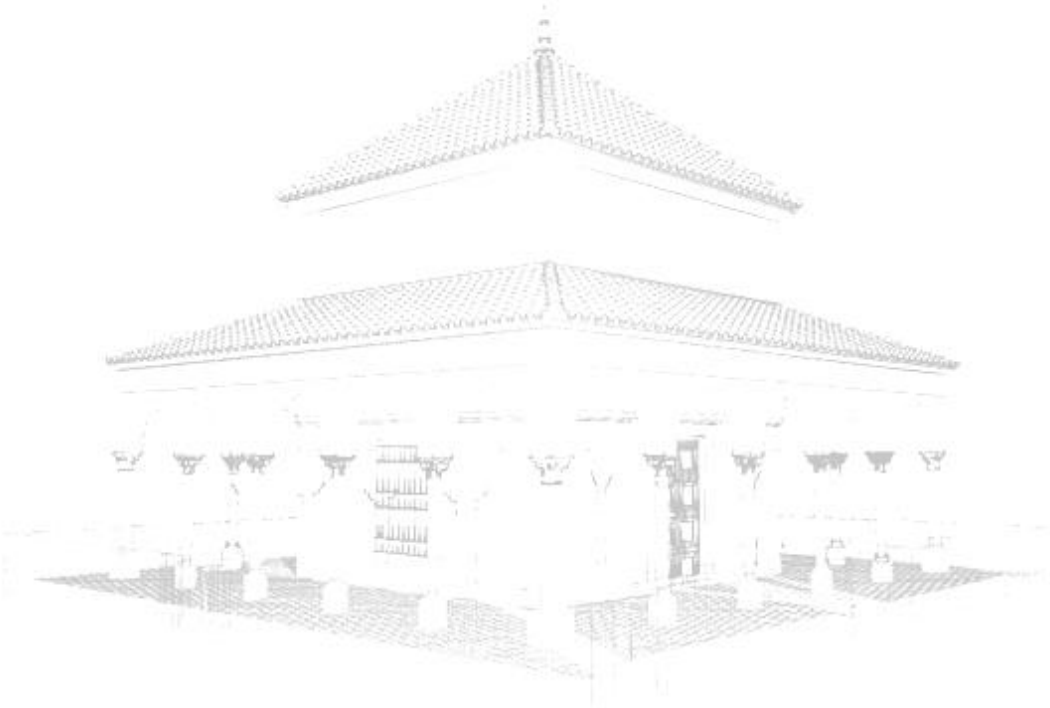


Fig. 386. Fachada filtrada sin acabados. Las catas visibles del paramento están realizadas con la herramienta Forma e introducidos en la nueva capa: Catas en Muros.



9.3. Identificación de unidades estratigráficas en el análisis arqueológico

Lo que diferencia una intervención de rehabilitación en un edificio histórico de otra construcción más reciente, es que en la primera es habitual encontrar una transposición de técnicas constructivas en los paramentos desnudos, que hacen necesaria una identificación y sectorización de los diferentes sistemas empleados. Las imágenes tomadas nos mostrarán alteraciones en las fábricas de los muros, con cierres de huecos y nuevas aperturas practicadas en los mismos, sustituciones de piezas originales o imposiciones de otras técnicas constructivas habituales en etapas posteriores de su historia. Por tanto, es fundamental en esta nueva fase una sectorización de las imágenes, para que el especialista interviniente aplique sus conoscimientos y pueda diferenciar en el modelo zonas (Z), establecer actividades (A) y discriminar unidad estratigráficas en el lienzo analizado (UE).

Esta opción de sectorización dentro de un mismo elemento sí la incorpora la herramienta *Forma,* permitiéndonos introducir las imágenes aisladas de las catas en la fachada intervenida. La empleamos en este caso, aplicando una sistemática que no afectara de lleno a la organización del modelo.

Creamos primeramente una *Forma* con las dimensiones exáctas de la cata para asociarle la ortoimagen del paramento desnudo[211]. Esta cara fue editada posteriormente utilizando el lápiz de la paleta de edición de la herramienta *Forma* para contornear las unidades estratigráficas identificadas en el muro, introduciendo sucesivamente subelementos dentro del elemento inicial (Fig. 387, Fig. 388, Fig. 389).

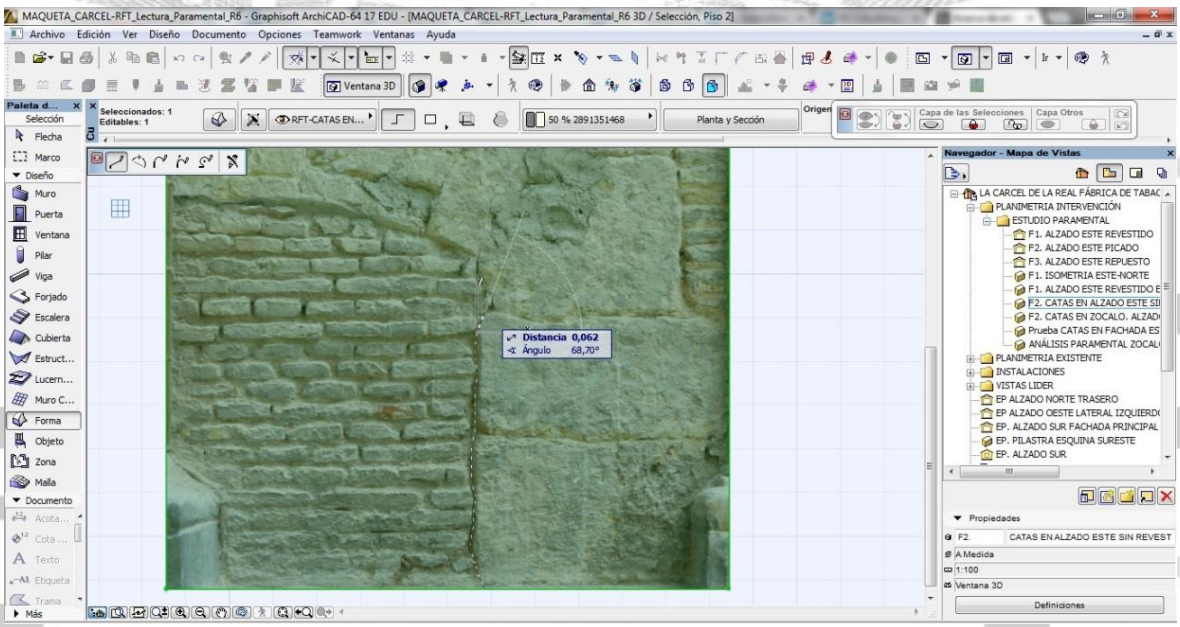


Fig. 387. Contorneado de una unidad estratigráfica en la ortoimagen de la cara exterior del elemento *Forma*.

[211] Se ha empleado la herramienta *Forma,* creando paralelepípedos de espesor 1 cm.

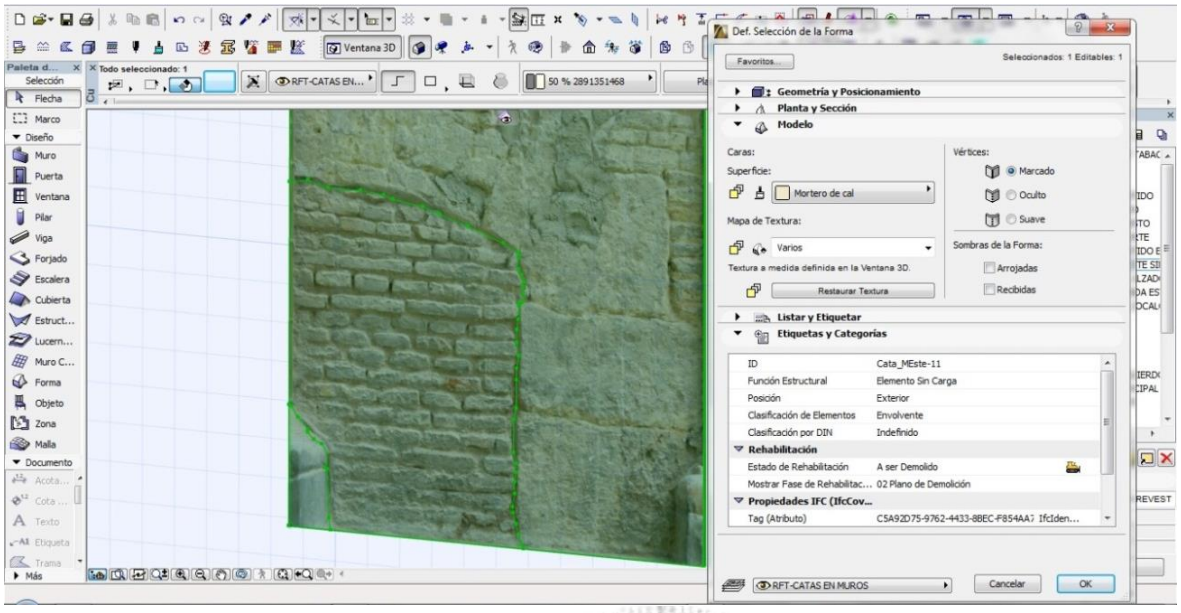


Fig. 388. Cierre de la unidad estratigráfica en la ortoimagen de la cara exterior dentro del elemento *Forma*.

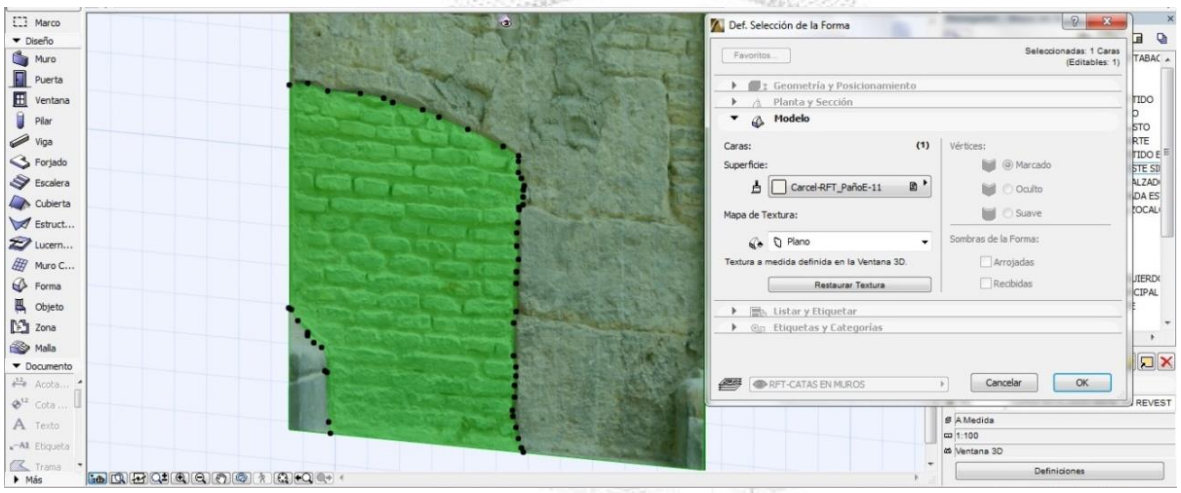


Fig. 389. Selección del subelemento (UE) creado dentro de la Forma identificada con el ID *Cata_MEste-1*.

Una vez finalizado el contorneado de todas las unidades, por tipologías constructivas, identificadas en la cata abierta en el muro Este, pudimos seleccionar cada sector independientemente sin que el mapa asociado sufriera ningún cambio respecto a la imagen inicial. Hasta este momento disponíamos de una clasificación gráfica de los paños intervenidos dentro del modelo de información, pero para que pudiera ser gestionado por el arqueólogo o técnico especialista la sistemática nos debía facilitar una identificación segmentada que clasificara técnicas constructivas, unidades o interfaces (Fig. 390). Sólo de este modo, cada sector podría ser relacionado en la matrix de Harris.

Fig. 390. a) Finalización del contorneado de todas las UE en la cata. b) Posteriormente podrá ser seleccionado cada sector independientemente sin que el mapa asociado sufra ningún cambio respecto a la imagen inicial.

Todos los subelementos creados estaban bajo el mismo ID (*Cata_MEste-11 para* las imágenes mostradas), incorporando una imagen global del paño o cata. Para deshacer esta situación de globalidad, procedimos a convertir cada subelemento de la cata expuesta en una nueva *Forma*[212].

De este modo, obtuvimos tantas unidades estratigráficas (UE) como contorneados practicados a la *Forma* origen (Cata). Las UE delimitadas por los contornos anteriores incorporarían una porción del mapa manipulado sin que sufriesen variación las coordenadas de inserción de la imagen (Fig. 391).

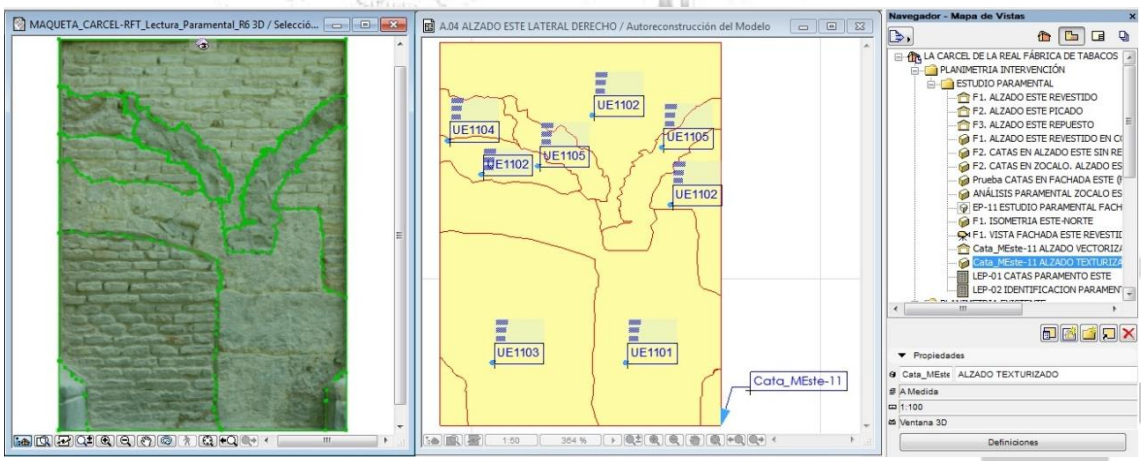


Fig. 391. a) Vista frontal medible de la cata seleccionada, apreciándose el contorno de los subelementos insertos (UE). b) Alzado 2D donde se muestra las mismas UE identificadas con una etiqueta. Cata_MEste-11.

Otro de los beneficios que nos proporcionó este procedimiento es que los nuevos elementos (UE) quedaban como superficies independizadas del elemento *Forma* anterior (Cata). Es decir, la Cata se seguía manteniendo como sustento de las *Unidades estratigráficas*, como una galleta de mortero de un centímetro de espesor.

[212] Los subelementos de las Formas deben ser seleccionados previamente con la fecha blanca (o teclas Ctrl+Mayús) para poder ser editados.

Para una gestión conveniente de la información finalmente creamos una nueva capa para incorporar las unidades estratigráficas (que denominamos *UE)*, permaneciendo solamente las *Formas* iniciales contorneadas en la capa *Catas en Muros.* A éstas le asignamos el material *Mortero de Cal* para evitar duplicidad de información (Fig. 392. b)

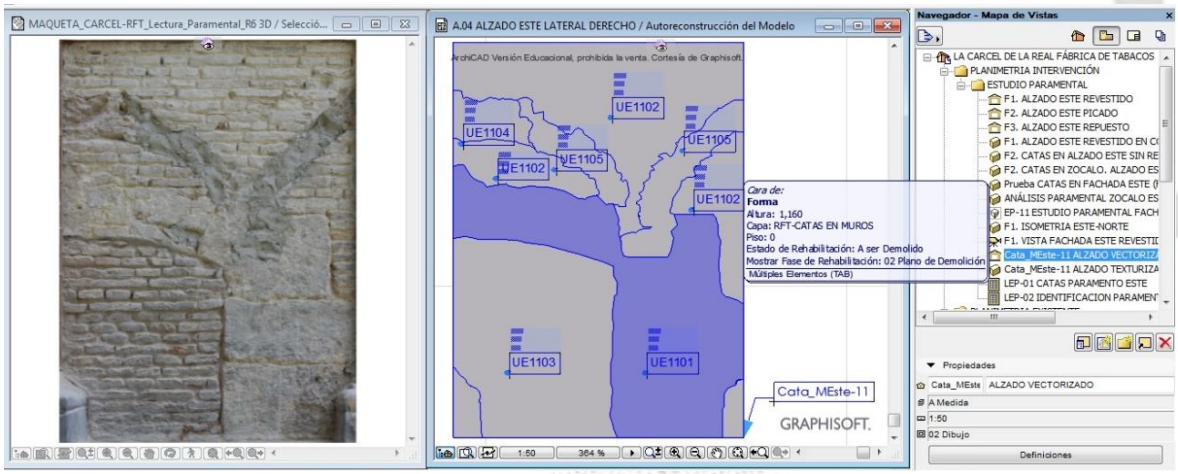


Fig. 392. a) Vista frontal 3D de la cata texturizada, con las UE independientes asociadas a la capa *Unidades estratigráficas*. b) Alzado 2D de la Forma contorneada *Cata_MEste-1*, asociada a la capa *Catas en Muros*.

Todas las catas que inicialmente se incorporaron a la fachada Este de la Cárcel, fueron desgranándose en sucesivas UE e identificándose con un ID correlativo. En la identificación de las unidades estratigráficas empleamos el prefijo UE, seguido del número de la cata y del orden en la secuencia cronológica en sentido ascendente (comenzando en la base del muro y finalizando en la coronación): UE 11 01, UE 11 02, UE 11 03,…, para la Cata MEste-11.

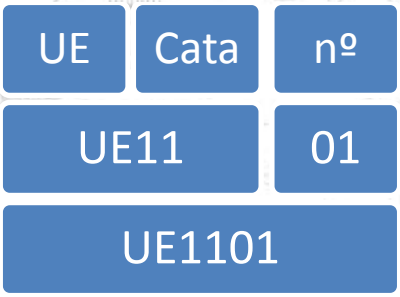


Fig. 393. Identificación de las unidades estratigráficas dentro de un sector o cata

En la figura siguiente se muestra el alzado frontal de la fachada orientada al Este del modelo de la Cárcel, con las etiquetas visibles de cada UE identificada.

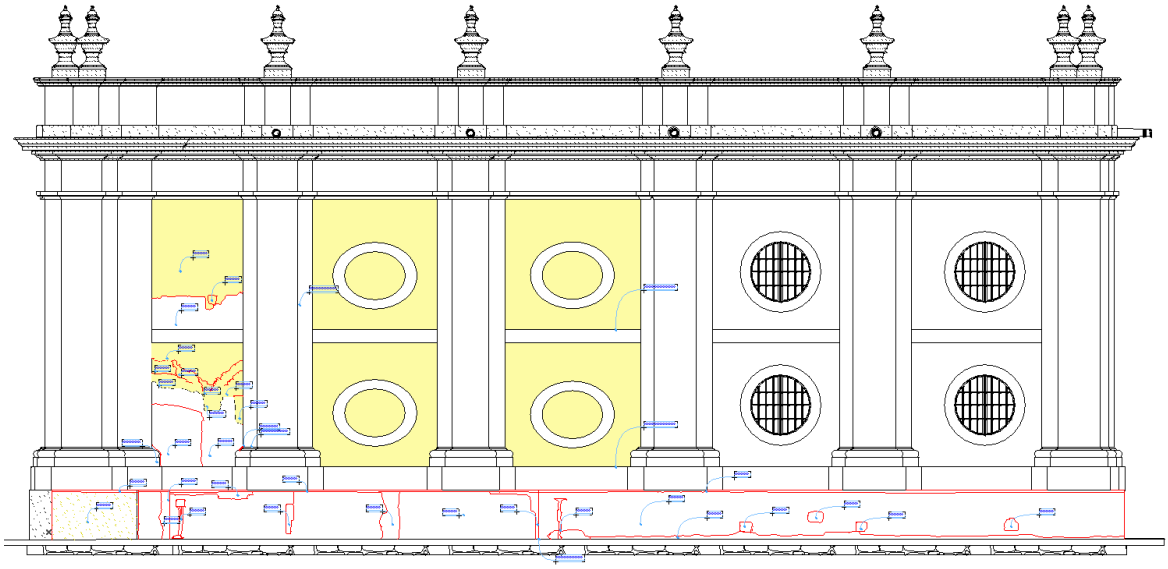


Fig. 394. Alzado de la fachada este con las catas coloreadas y las unidades estratigráficas identificadas.

9.4. Asignación de las fases de Rehabilitación

Para la gestión gráfica del modelo BIM también ha sido de gran utilidad el asistente de rehabilitación, que nos permite obtener cuatro estados de la intervención o *Fases de Rehabilitación*: Estado actual, Estado rehabilitado o intervenido (sin revestimientos) y estado después de la rehabilitación (que de nuevo incorpora los revestimientos).

Como ejemplo para mostrar la funcionalidad del módulo de Rehabilitación y Reforma de ArchiCAD elegimos el modelo BIM de la antigua Cárcel de la RFT, en el cual se planteó una hipotética reforma interior para acondicionar un ala del edificio a una nueva biblioteca más amplia[213].

También nos ha sido muy práctico en el estudio paramental del mismo edificio, aunque ha sido necesaria su adaptabilidad a las tareas habituales de un arqueólogo especialista. Explicaremos a continuación la sistemática utilizada, apoyada de imágenes aclaratorias del proceso, con la obtención al final de vistas filtradas del modelo que muestran la intervención en los paramentos estratificados.

Primeramente, la planimetría originada del levantamiento del edificio estará asociada a la fase 1. *Plano Existente*. A continuación, una vez adquirida la nueva información procedente de las prospecciones, generamos los planos de la intervención al asignarle a los elementos afectados la fase 2. *Plano de Demolición*[214]. Aquí mostramos los elementos existentes y sobrescribimos los que van a ser *picados y estudiados. En el estado 3: Después de la demolición* mostramos los paramentos sin revestimientos, escondiendo los demolidos y los nuevos proyectados.

[213] 6.1.3. El módulo de Rehabilitación y Reformas de ArchiCAD
[214] El término de Demolición equivaldría al de Intervención en un edificio histórico. El término lo introduce el asistente de Rehabilitación de ArchiCAD por ser habitual en la remodelación de edificios.

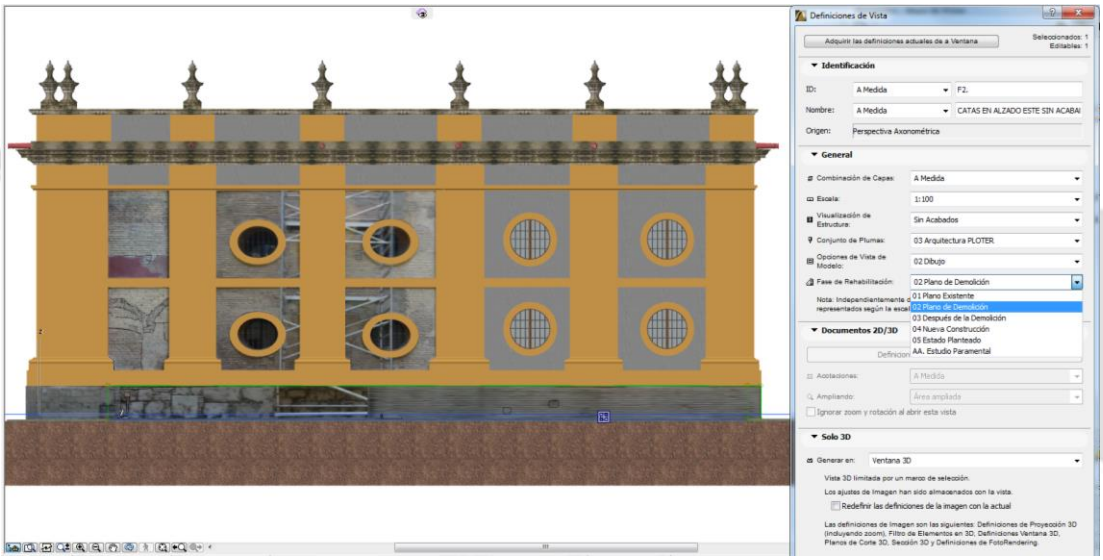


Fig. 395. Vista frontal de la fachada orientada al Este del antigua Cárcel del RFT de Sevilla. Se ha filtrado información al aplicar la visualización parcial *Sin Acabados* y la fase de rehabilitación *Plano de Demolición*.

Las fases 4. Nueva Construcción y 5. Estado Planteado no han sido aplicadas para el estudio paramental del modelo de La Cárcel[215], pues dependerá de los trabajos y de las conclusiones alcanzadas por las disciplinas competentes, temas que quedan fuera de los objetivos de esta tesis.

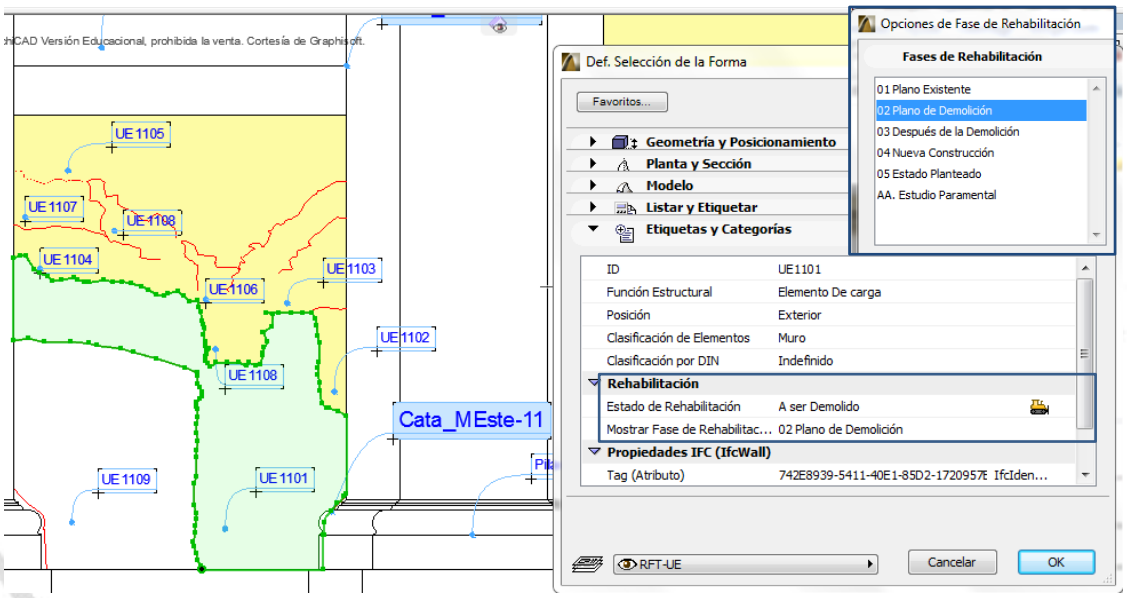


Fig. 396. Definición del estado de rehabilitación de la UE1101: *A ser Demolido*, que equivale a ser *Picado y Estudiado*. Será mostrado en el plano de Demolición o Plano de Estudio Paramental.

Para evitar esta confusión entre una tarea de demolición, que implica la destrucción de una unidad de obra (el aparejo de un muro, por ej.) y la de picado, que pretende desnudar un paramento de su revoco, creamos una nueva Fase de Rehabilitación exclusiva para el análisis estratigráfico paramental, que denominamos *AA. Estudio Paramental* (Fig. 397).

[215] 6.1.3.2. Estado de Rehabilitación a Elementos

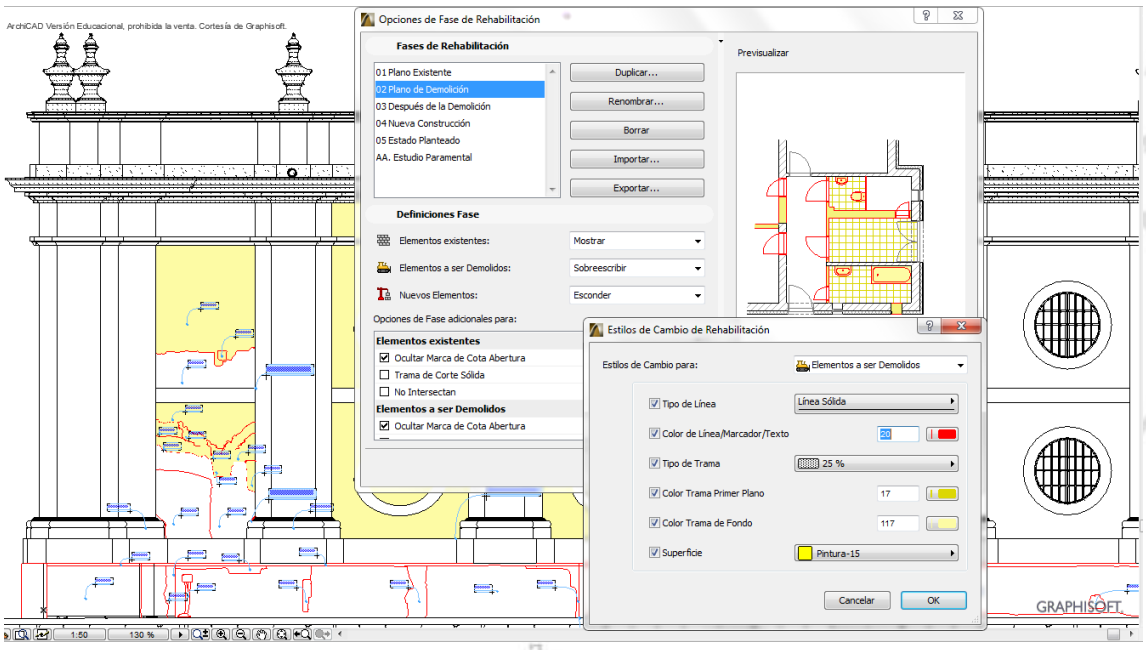
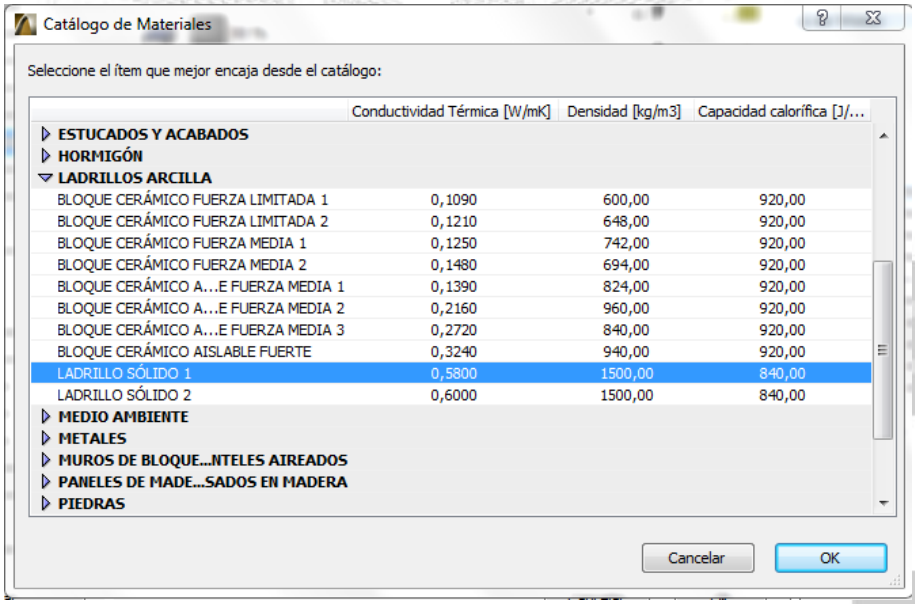


Fig. 397. Definiciones de la fase de Rehabilitación *AA. Estudio Paramental.*

9.5. Asociación del sistema constructivo a las unidades estratigráficas

Una vez que las unidades estratigráficas estaban perfectamente delimitadas, procedimos a la asignación del material y de la técnica constructiva empleada en ellas. Fuimos seleccionando cada UE del sector estudiado y le asociamos un material de construcción de la base de datos disponible en el software ArchiCAD, aunque fue necesario crear nuevos materiales exclusivos para este edificio histórico. El asistente permite acceder a un Catálogo que incorporan datos de las propiedades físicas de los materiales: conductividad térmica, densidad y capacidad calorífica.



	Conductividad Térmica [W/mK]	Densidad [kg/m3]	Capacidad calorífica [J/...
ESTUCADOS Y ACABADOS			
HORMIGÓN			
LADRILLOS ARCILLA			
BLOQUE CERÁMICO FUERZA LIMITADA 1	0,1090	600,00	920,00
BLOQUE CERÁMICO FUERZA LIMITADA 2	0,1210	648,00	920,00
BLOQUE CERÁMICO FUERZA MEDIA 1	0,1250	742,00	920,00
BLOQUE CERÁMICO FUERZA MEDIA 2	0,1480	694,00	920,00
BLOQUE CERÁMICO A...E FUERZA MEDIA 1	0,1390	824,00	920,00
BLOQUE CERÁMICO A...E FUERZA MEDIA 2	0,2160	960,00	920,00
BLOQUE CERÁMICO A...E FUERZA MEDIA 3	0,2720	840,00	920,00
BLOQUE CERÁMICO AISLABLE FUERTE	0,3240	940,00	920,00
LADRILLO SÓLIDO 1	0,5800	1500,00	840,00
LADRILLO SÓLIDO 2	0,6000	1500,00	840,00
MEDIO AMBIENTE			
METALES			
MUROS DE BLOQUE...NTELES AIREADOS			
PANELES DE MADE...SADOS EN MADERA			
PIEDRAS			

Fig. 398. Catálogo de Materiales de ArchiCAD, proporciona una gran variedad de tipologías constructivas. La imagen muestra los tipos de fábricas de ladrillos de arcilla.

El Catálogo de Materiales de ArchiCAD está subdividido por tipologías constructivas, permitiéndonos elegir entre una gran variedad de variantes, aunque también tenemos la posibilidad de crear nuevos tipos. En nuestro caso elegimos aquella que mejor encajaba con la localizada en el edificio investigado.

En el estudio paramental detectamos casi una decena de tipologías entre diferentes aparejos de ladrillo de taco irregulares y mampuestos de piedra caliza. Para diferenciar las variantes de los aparejos que utilizaban el mismo ladrillo cerámico, es decir, con las mismas propiedades físicas, se les cambió su estructura y apariencia exterior: utilizamos una trama vectorial asociada al corte y una textura envolvente distintiva para cada tipo.

En la ventana del asistente de Materiales de Construcción de la figura siguiente se muestran todos los aparejos creados para el modelo de la Cárcel:

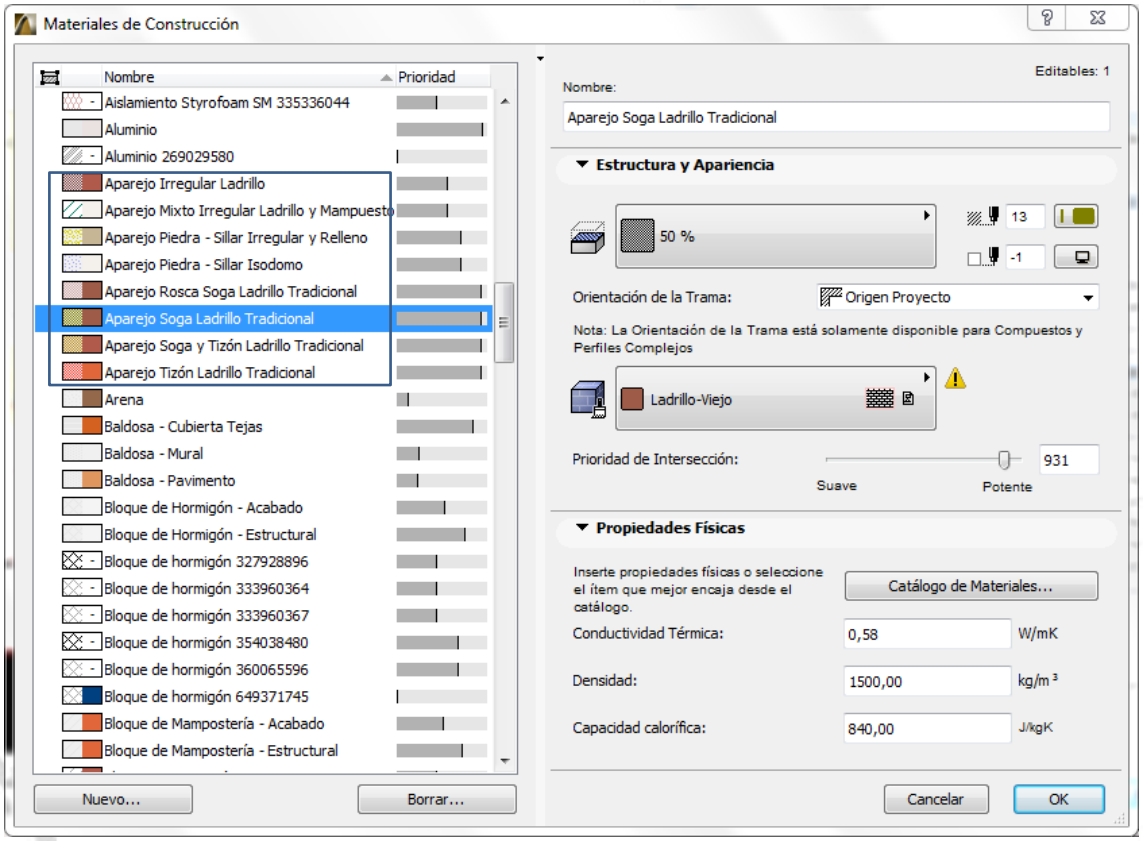


Fig. 399. Edición del material *Aparejo Soga Ladrillo Tradicional*: estructura, apariencia y propiedades físicas.

Por último, las diferentes unidades estratigráficas detectadas en las catas de la fachada Este de la Cárcel se incrustaron en el modelo de información para estampar sus dimensiones, asociarles las imágenes ortográficas tomadas en las intervenciones y vincularlas a una base de datos que clasificaba el material, la tipología constructiva empleada y las propiedades físicas más relevantes (Fig. 400, Fig. 401, Fig. 402).

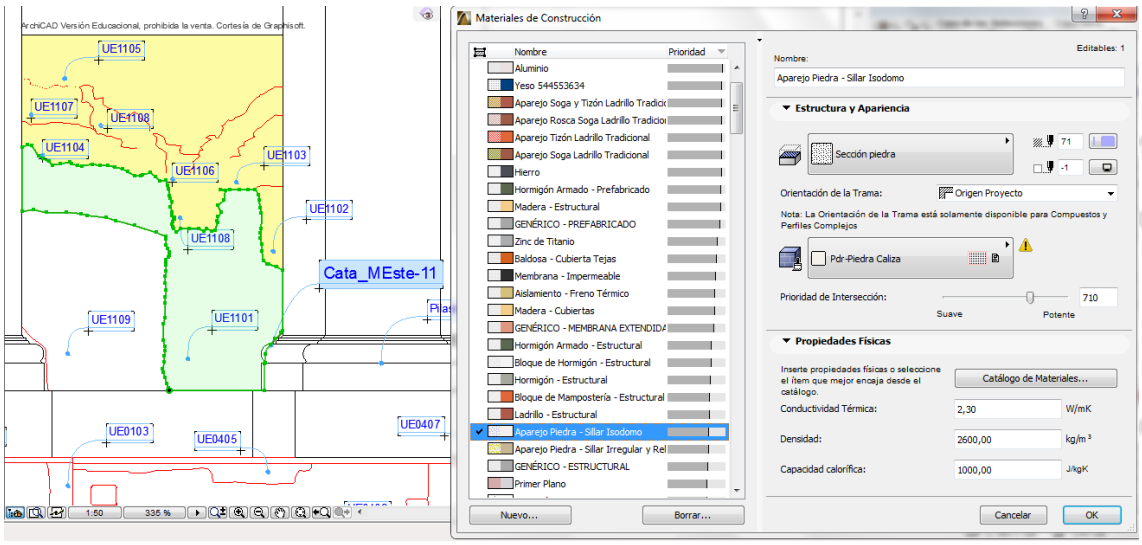


Fig. 400. Edición del material de la UE1101 identificada en el alzado 2D de la fachada Este de la Cárcel R.F.T.

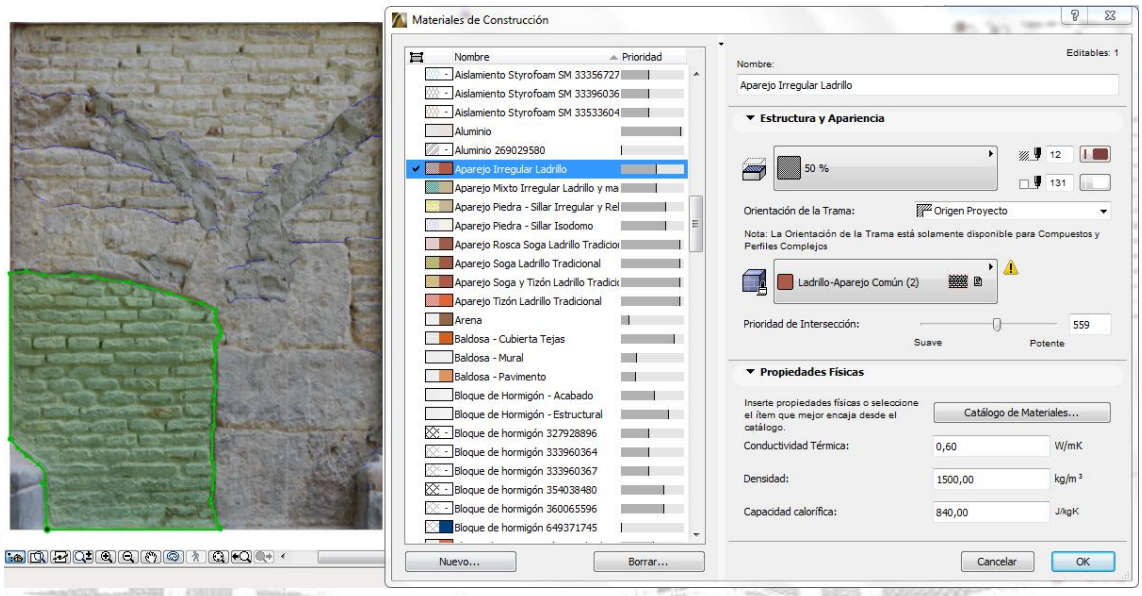


Fig. 401. Edición del material de la UE1109 seleccionada en el vista frontal 3D de la misma fachada Este.

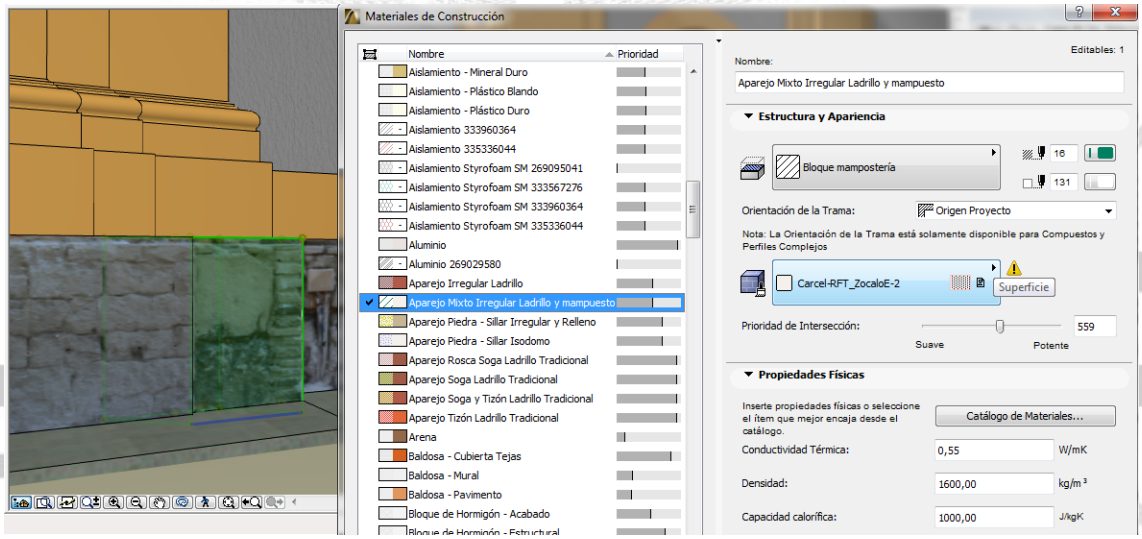
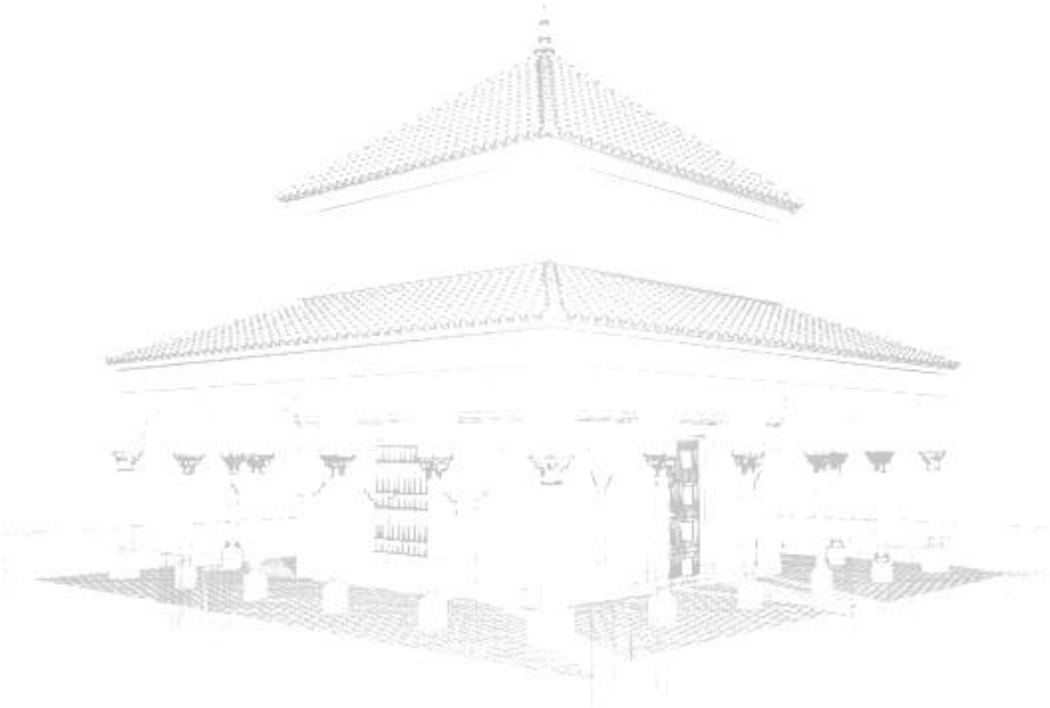


Fig. 402. Asignación del material *Aparejo Mixto Irregular Ladrillo y Mampuesto* a una UE del pedestal Este.



9.6. Identificación de piezas para la Restauración de los paños de azulejos

Siguiendo el proceso de mapeado de superficies expuesto en el capítulo anterior[216], finalmente obtuvimos un modelo BIM texturizado en sectores identificados, que para el caso de los alicatados exteriores se delimitaron en paños de dimensiones más reducidas aprovechándonos de cenefas y listeros perimetrales. Este procedimiento, aunque facilitaría las labores de intervención, no es totalmente efectivo. Sabemos que el especialista que interviene en una restauración de azulejos deteriorados debe además proceder a una clasificación tipológica de las piezas insertas. El restaurador, al igual que el arqueólogo, requiere de una identificación exhaustiva de todas las piezas, necesaria para que sean analizadas, asemejadas y clasificadas antes de proceder a la restauración.

Pensamos que revestir los paramentos del Cenador con una matriz de elementos por cada azulejo (empleando la herramienta *muro)*, era una tarea engorrosa, poco precisa e interminable. Éramos conocedores de que las llagas eran irregulares y no mantenían una alineación constante, con recortes y ajustes forzados propios de continuadas reparaciones. Y acudir al uso de alguna aplicación específica en ArchiCAD para facilitarnos el aplacado de muros, proveída por un fabricante cerámico como asistente o API[217], era igualmente una opción que no resolvería un levantamiento geométrico exacto de los alicatados, con las peculiaridades propias de un muro del siglo XVI: asentamientos, desplomes y abombamientos.

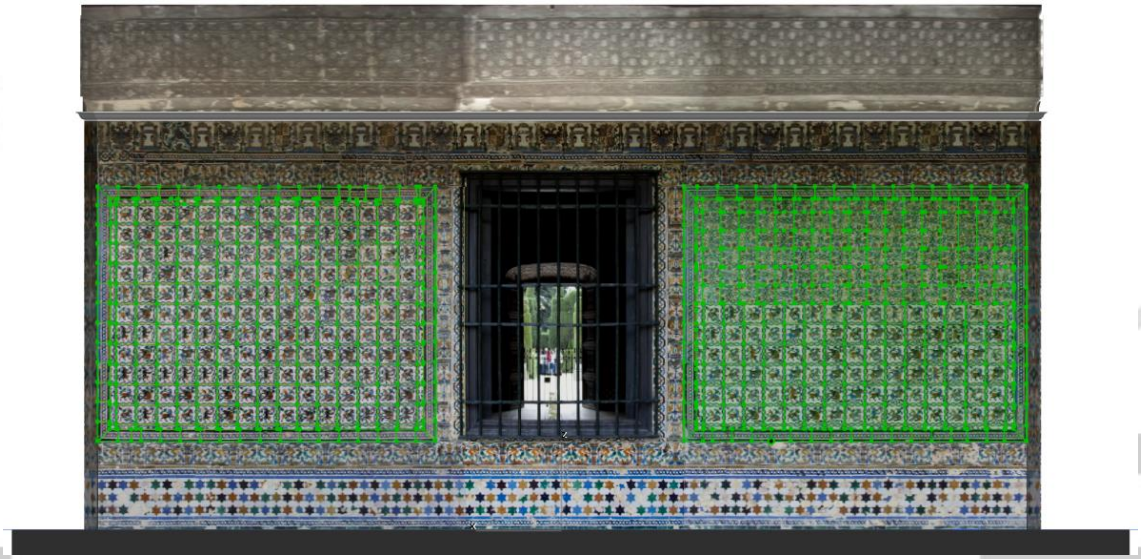


Fig. 403. Vectorizado de los paños de azulejos de la fachada norte, usando como base la Ortofoto.

Así que finalmente nos decantamos por el mismo método empleado para el estudio paramental. Llegamos a la conclusión de que la metodología usada en la lectura de los muros picados del modelo de la Cárcel, para aislar y numerar

[216] Apartado 8.3.1. Rectificación de los Paños de azulejos.
[217] *Creaton* es un asistente para aplacar muros en ArchiCAD utilizando revestimientos Eternit. La empresa eptar también comercializa el API *Tiling* para azulejos: http://www.eptar.hu/eptar_letoltes_addon.php#creaton.

unidades estratigráficas, nos sirviría igualmente para identificar azulejos, cenefas y otros fragmentos más pequeños de manera fácil y muy mecánica.

Comenzamos, por tanto, a contornear los bordes de las piezas del alicatado utilizando el lápiz de la paleta de edición sobre la propia ortoimagen, asociada a la cara del elemento *Forma* que envolvía los muros a modo de plantilla (Fig. 403).

Una vez formada la trama vectorial que contorneaba de las piezas en cada paño alicatado, seleccionamos por grupo las tipologías existentes de azulejos (Fig. 404).

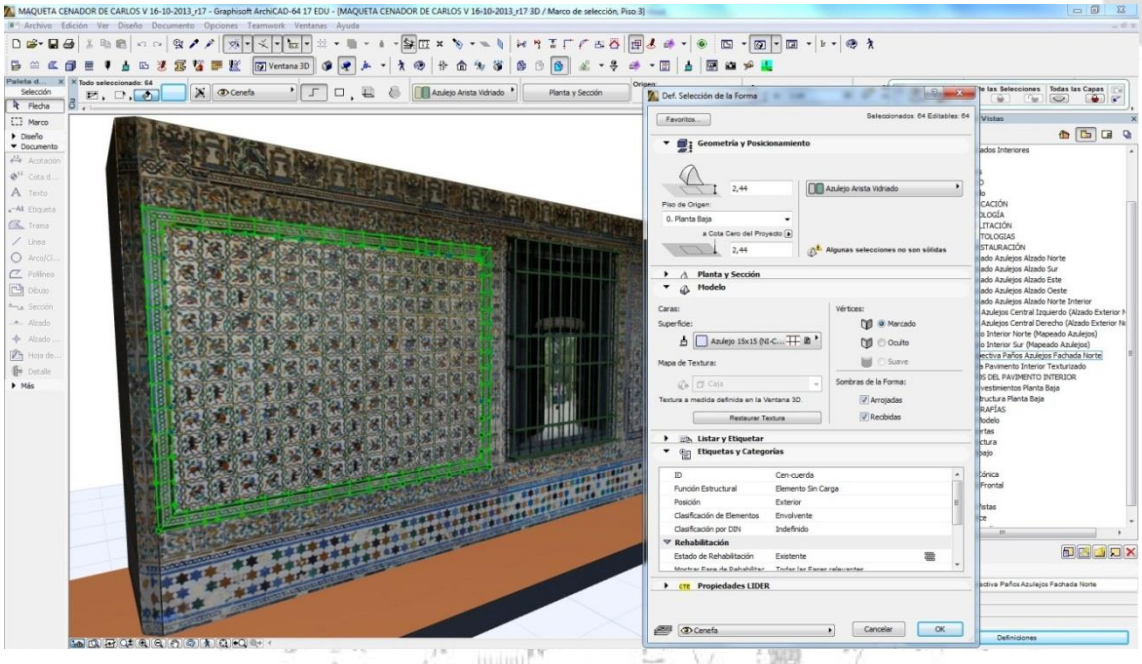


Fig. 404. Selección de cenefas con ID *Cen-cuerda* y que enmarcan el paño de azulejos en la fachada norte.

Después procedimos a su fragmentación volviendo a convertir el subelemento del paño en una nueva *Forma* aislada: azulejo, cenefa y listero (Fig. 405).

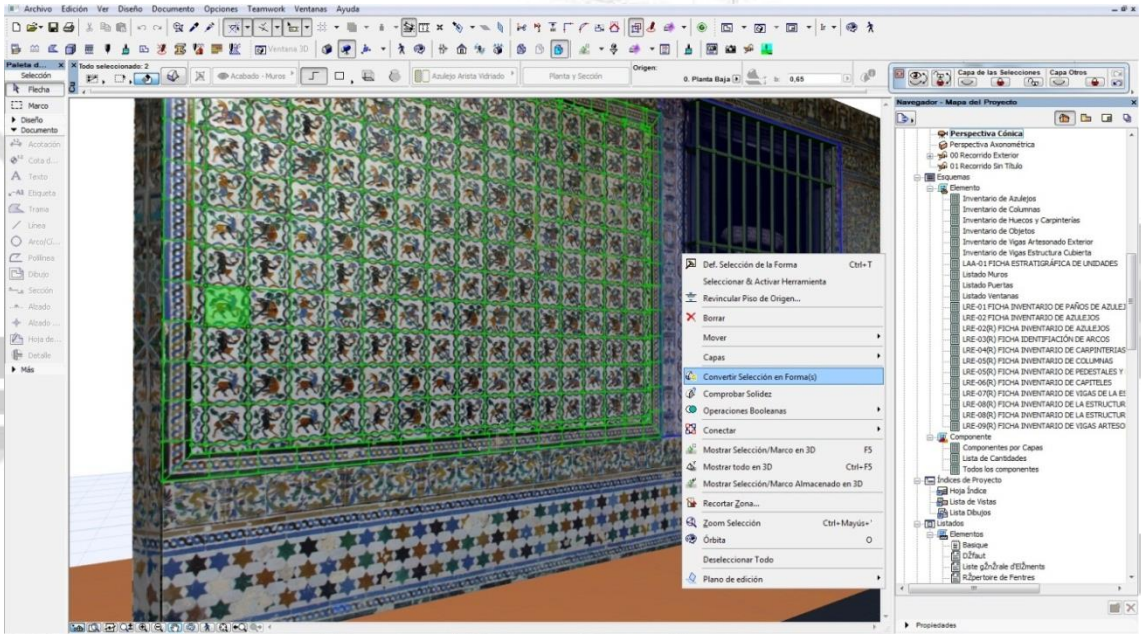


Fig. 405. Los subelementos que muestran la misma tipología son convertidos en elementos independientes.

Esta metodología nos permitió además no perder las geometrías del paño contenedor, disponiendo aún del elemento matriz (con su ID original: *Az-NI_Cen*). Ahora tendríamos tanto las piezas independientes, que fueron incorporadas en una nueva capa Azulejos para independizarlos de sus paños, y éstos últimos que se mantendrían en la capa *Acabados Muros*, a los que se asignó el material Mortero de cal como si fuesen la base del alicatado.

A continuación marcamos por grupos los azulejos que llevaban el mismo motivo, incorporándoles un ID identificativo. Para el caso del paño central del lateral izquierdo de la fachada norte, fue el nombre de los animales y de los personajes mitológicos insertos: *caballo, centauro, lobo, mono, sátiro y unicornio* (Fig. 406)[218].

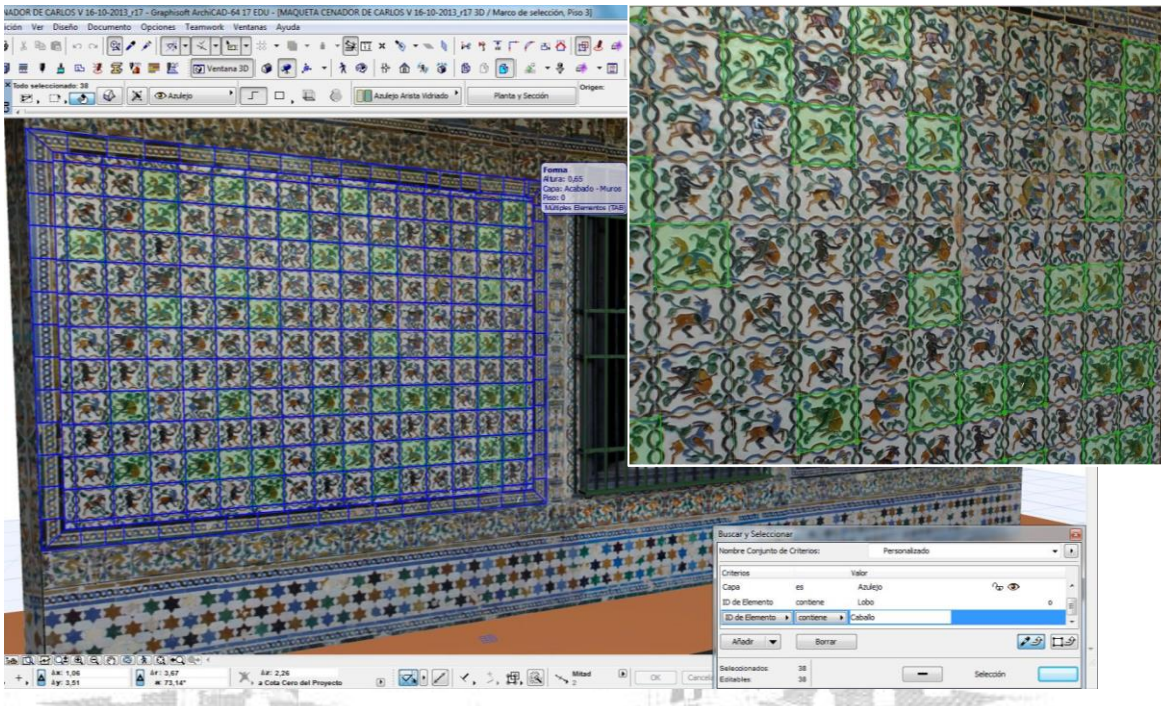


Fig. 406. Identificación de las piezas con un ID propio en función del motivo: caballo, centauro, lobo, mono, sátiro y unicornio. Paño central del lateral izquierdo en la fachada norte del Cenador de Carlos V.

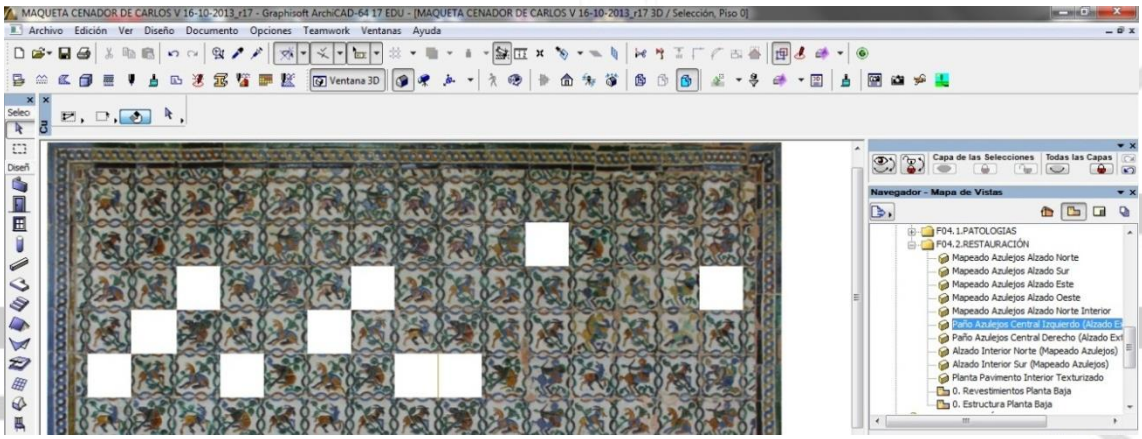
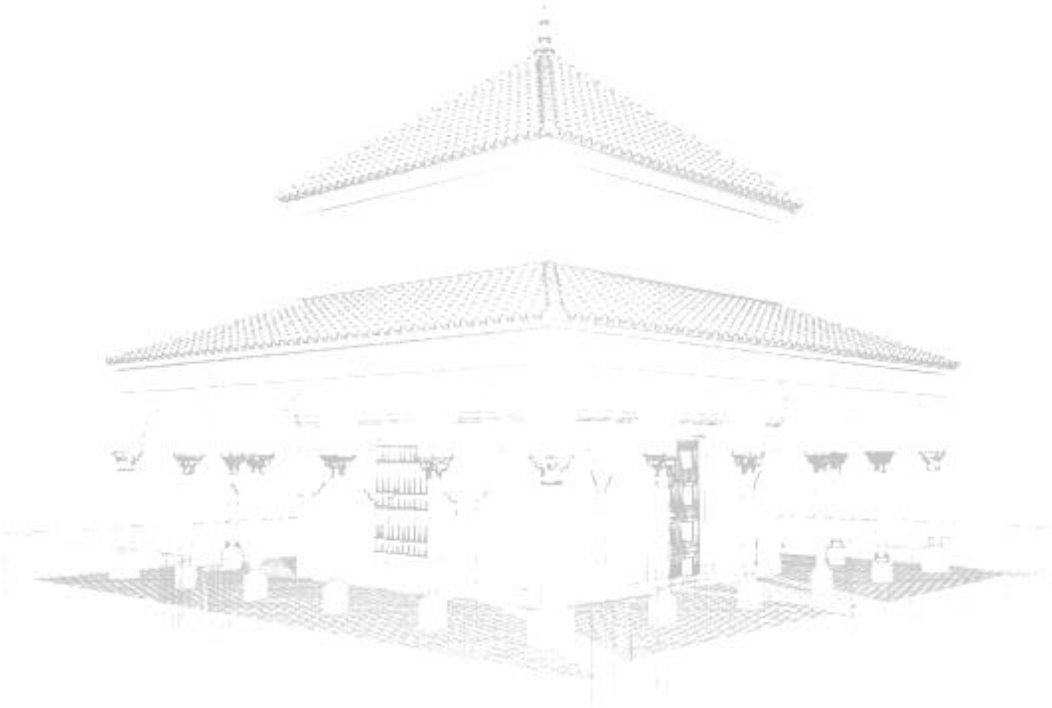


Fig. 407. Visualización del paño después de ser convertido los subelementos en elementos independientes. Los vacíos corresponden a los azulejos con un mismo motivo: *Sátiro* en este caso.

[218] Al igual que para el caso de las UE en el estudio paramental, los nuevos elementos seguirán incorporando la imagen del azulejo correspondiente dentro de la matriz del paño sin sufrir variación alguna.



9.7. Identificación de piezas para la Restauración de pavimentos

Si el estado de los paños de azulejos en el interior de la sala del Cenador era muy aceptable, el del pavimento en cambio nos comprometía a una intervención urgente por su avanzado deterioro. La extraordinaria composición del mosaico de baldosas de barro, delimitadas por tiras cerámicas y olambrillas conformando cuadros equidistantes y rayos radiales, estaba oculta por la suciedad, la cal del agua de la fuente y un desgaste extremo en muchas de las piezas.

Aquí si era necesario una identificación exhaustiva del motivo inserto en cada cuadrícula, con formas geométricas muy variadas: Círculo, Corazón, Estrella, Flor, Octógono, Óvalo, Pentágono, Rombo, Rombo ovalado y Triángulo. Sin olvidarnos del característico laberinto bajo la ventana con orientación al poniente y la composición de cerámica vidriada de la alfombra central que envuelve la fuente y canal. Explicaremos a continuación el procedimiento de delimitación e identificación de piezas, muy similar al empleado en los paños alicatados:

Primeramente se convirtió el *Forjado* que utilizamos inialmente como suelo de la sala a elemento F*orma,* y se le asoció a la superficie expuesta la ortoimagen completa como textura del pavimento.

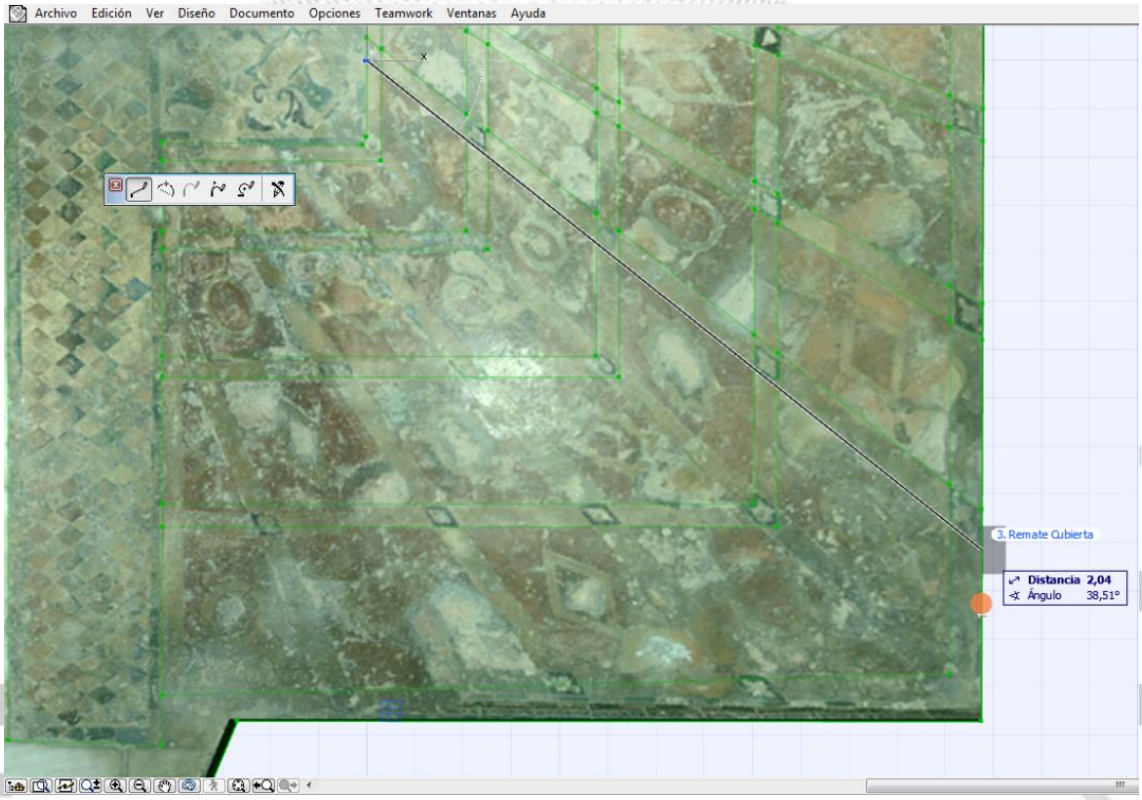


Fig. 408. Contorneado de baldosas y cenefas del pavimento interior del Cenador. Se ha usado como base el mapa de la superficie expuesta del elemento *Forma* de ArchiCAD.

Después, comenzamos a contonear con el lápiz de la paleta de edición de *Forma* los bordes de baldosas, cenefas y sectores centrales que contenían mosaicos de pequeñas piezas de cerámica (romboidal y rectangular) y motivos

florales, pero sin llegar a una subdivisión de piezas muy profunda pues nos llevaría a una dificil gestión de los elementos.

Una vez contorneadas las piezas, dispusimos de la planta vectorizada sobre la imagen métrica del pavimento, formada por recintos cerrados con formas geométricas variadas (Fig. 409, Fig. 410).

Fig. 409. Selección de bordes de baldosas y cenefas del elemento *Forma* mapeado al finalizar el contorneado.

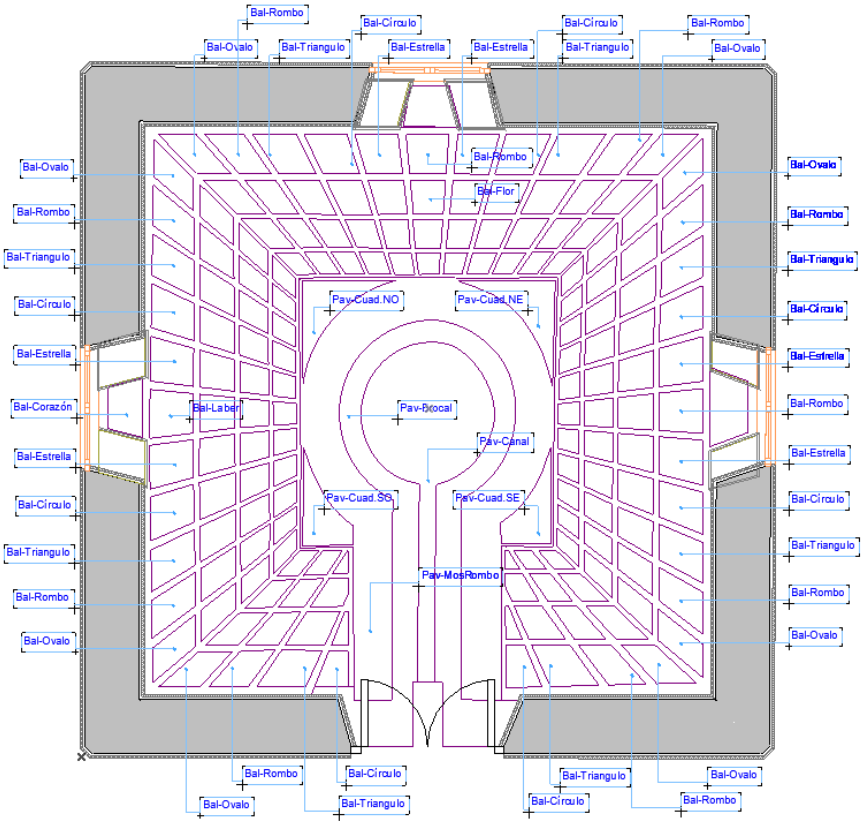


Fig. 410. Vista 2D de la Planta Contorneada con las etiquetas de sectores y piezas identificadas. ArchiCAD 17.

Ahora habría que seleccionar las piezas por tipologías y ejecutar una descomposición del elemento matriz en subelementos (también en tipo *Forma)*. Obtuvimos así una sectorización del pavimento por tipologías de piezas, diferenciando los tipos de baldosas, las cenefas perimetrales, los mosaicos de rombos que envuelven a la fuente y canal, y las cuatro cuñas acopladas en las esquinas de la alfombra central.

Y al igual que sucediera para el azulejo de los paños exteriores, finalmente la baldosa quedó independizada del resto de la composición del pavimento y con la ortoimagen acoplada sin necesidad de realizar nuevas operaciones de ajustes del mapa (Fig. 411).

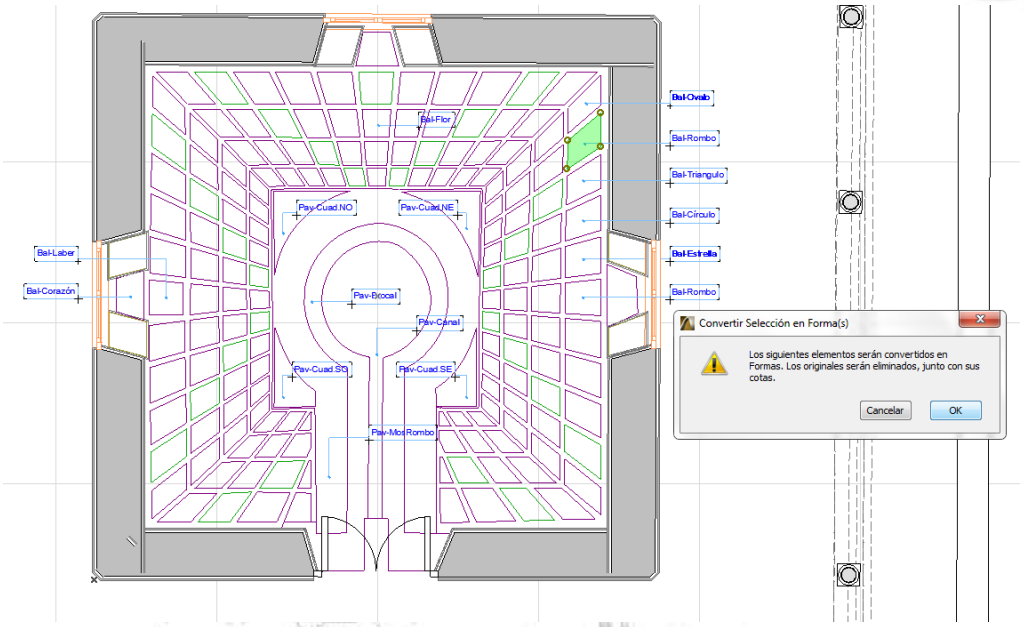


Fig. 411. Selección y conversión de cada sector o recinto del pavimento (matriz *Forma*) en una baldosa independiente (subelemento *Forma*).

En la fase inicial de modelado se fueron incorporando todos los solados del Cenador de Carlos V en una misma capa (*Acabado – Pavimento),* pero ahora se veía conveniente establecer nuevas capas contenedoras, motivado por las subdivisiones de cada pavimento. Para ello, creamos la capa *Baldosas* en la que ubicamos las fracciones obtenidas del pavimento interior.

El siguiente paso sería la propia clasificación de las baldosas con un ID propio en función del motivo inserto. A medida que la pieza quedaba independizada del global se le asignaba una etiqueta característica. Por ejemplo, para la pieza Óvalo se utilizó el ID *Bal-Ovalo*. Una vez que las baldosas fueron identificadas por grupo se consignaron en la nueva capa creada (Fig. 412, Fig. 413)[219].

[219] Si la capa asignada la tenemos oculta, las piezas identificadas irán despareciendo en el pavimento disgregado, y así sólo quedaran visibles los que todavía quedan por identificar según su tipología.

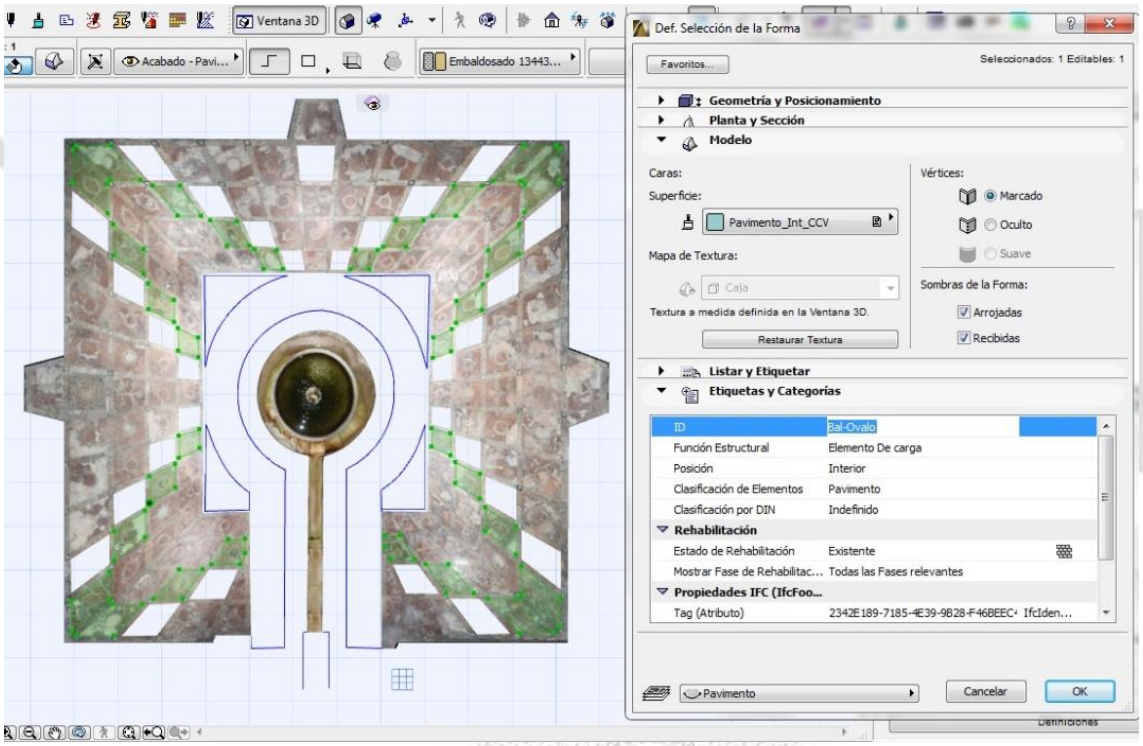


Fig. 412. Identificación de las baldosas con un ID propio en función del motivo: Óvalo (*ID = Bal-Ovalo*).

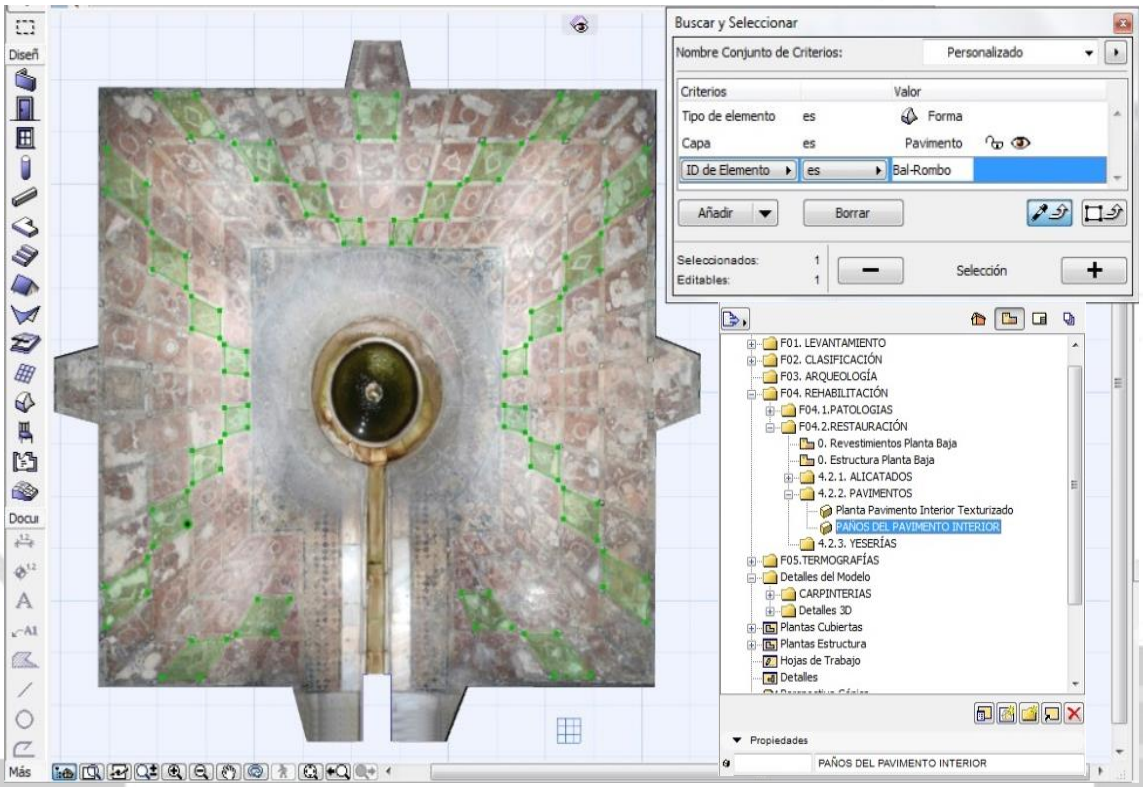


Fig. 413. Pavimento sectorizado por tipos de baldosas. Están seleccionadas las baldosas identificadas con ID *Bal-Rombo*.

En cambio, tanto las cenefas perimetrales como las olambrillas insertas en las intersecciones se quedaron inicialmente todas agrupas y con una sola identificación (*Pav-Cenefas)* hasta que el restaurador procediera a su examinación, y recomendase o no una nueva división. Fueron incorporadas en una nueva capa denominada *Pavimento – Cenefas* (Fig. 414).

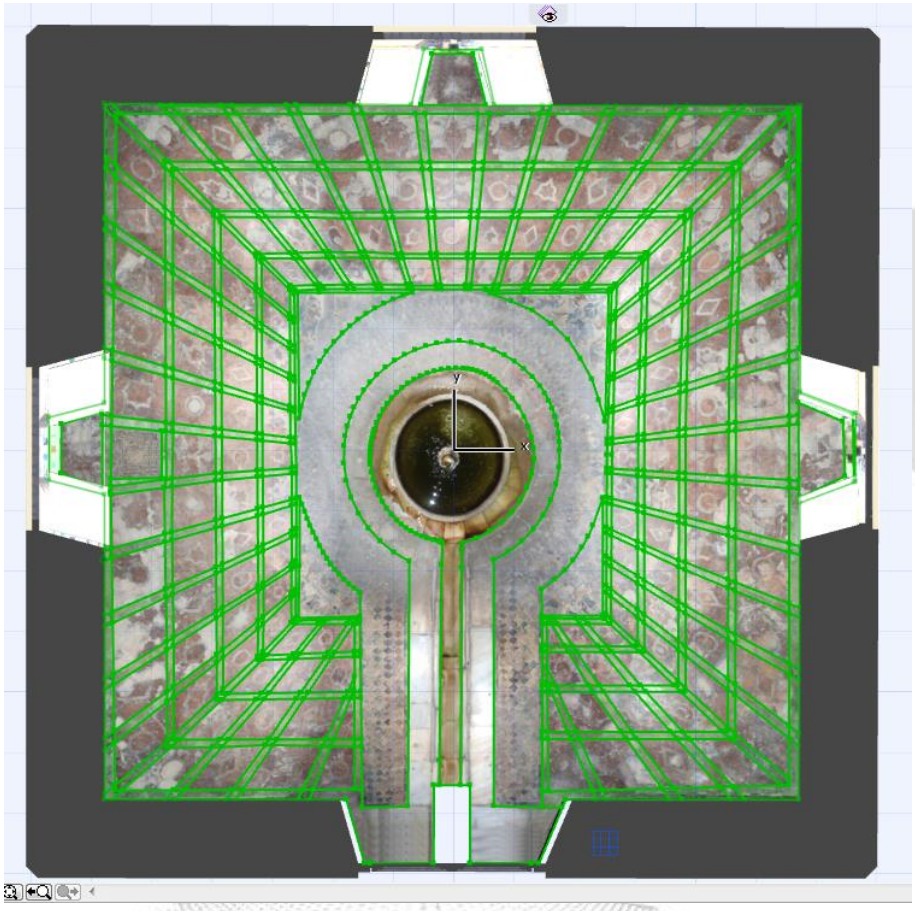


Fig. 414. Vista superior 3D de la planta texturizada, donde se muestra la selección de las piezas identificadas con el ID *Pav-Cenefas.*

Finalizado el procedimiento gráfico de separación, clasificación e identificación de las piezas del pavimento, pasamos a confeccionar las bases de los datos generados. Los *Esquemas* finalmente obtenidos para el inventario y exploración de los elementos incluidos en el proyecto HBIM reflejan por filas todas las baldosas identificadas por tipos, aportando un total de 183 piezas que suman un área de 26.57 m^2. En las demás columnas se han establecido otros datos de interés para su complementación por el especialista en la restauración: *cronología, datación, grado de conservación, agresión atmosférica, biológica, mecánica y química*[220].

En el caso de la retícula formada por las cenefas perimetrales, donde el pavimento no ha sido fragmentado, en la columna de cantidad aparece sólo una unidad por constituir una agrupación. En el listado siguiente podemos observar el contenido de la capa *Pavimento – Cenefa,* obteniendo para el elemento *Pav-Cenefa* un área total de 8.90 m^2 (Fig. 415).

[220] Los listados confeccionados serán mostrados en la documentación Anexo al Proyecto de Tesis.

LRE-01(R) FICHA INVENTARIO DE BALDOSAS A RESTAURAR

	ID	Cantidad	Posición	Clasificación de Elementos	Estado de Rehabilitación	Material de Construcción	Area de la Superficie	Cronología	Datación	Grado Conservac.	Agresión Atmosférica	Agresión Biológica	Agresión Mecánica	Agresión Química
Capa Baldosas														
	Bal-Círculo	18	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	2,22							
	Bal-Corazón	4	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	0,64							
	Bal-Estrella	31	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	2,79							
	Bal-Flor	4	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	0,36							
	Bal-Laber	1	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	0,20							
	Bal-Octo	9	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	0,59							
	Bal-Ovalo	31	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	2,95							
	Bal-Penta	9	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	0,38							
	Bal-Rombo	31	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	3,30							
	Bal-RomboOval	9	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	0,38							
	Bal-Triangulo	28	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	2,79							
	Pav-Brocal	1	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	2,78							
	Pav-Canal	1	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	1,86							
	Pav-Cuad.NE	1	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	0,32							
	Pav-Cuad.NO	1	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	0,30							
	Pav-Cuad.SE	1	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	0,25							
	Pav-Cuad.SO	1	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	0,25							
	Pav-MosRombo	2	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	4,21							
Capa Pavimento - Cenefas														
	Pav-Cenefas	1	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	8,90							
		184					35,47 m²							

MODELO DEL CENADOR DE CARLOS V
- F01. LEVANTAMIENTO
- F02. CLASIFICACIÓN
  - F02.1.IDENTIFICACION
  - F02.2.INVENTARIO
    - Inventario de Azulejos
    - Inventario de Columnas
    - Inventario de Huecos y Carpinterías
    - Inventario de Vigas Estructura Cubierta
    - Inventario de Vigas Artesonado Exterior
    - LRE-01(R) FICHA INVENTARIO DE BALDOSAS A RESTAURAR
    - LRE-02 FICHA INVENTARIO DE AZULEJOS
    - LRE-02(R) FICHA INVENTARIO DE AZULEJOS
    - LRE-02(R) FICHA INVENTARIO DE AZULEJOS A RESTAURAR
    - LRE-03(R) FICHA IDENTIFIACIÓN DE ARCOS
    - LRE-04(R) FICHA INVENTARIO DE CARPINTERIAS
    - LRE-05(R) FICHA INVENTARIO DE COLUMNAS
    - LRE-06(R) FICHA INVENTARIO DE CAPITELES
    - LRE-07(R) FICHA INVENTARIO DE VIGAS DE LA ESTRUCTURA
    - LRE-08(R) FICHA INVENTARIO DE LA ESTRUCTURA DE CUBII
    - LRE-08(R) FICHA INVENTARIO DE LA ESTRUCTURA DE CUBII
    - LRE-09(R) FICHA INVENTARIO DE VIGAS Y TARIMAS DE CUB
    - LRE-10 FICHA ELEMENTOS POR ZONAS
- F03. ARQUEOLOGÍA
- F04. REHABILITACIÓN
  - F04.1.PATOLOGIAS
  - F04.2.RESTAURACIÓN
- F05.TERMOGRAFÍAS

Fig. 415. Ficha Inventario de las Baldosas del pavimento de la sala interior del Cenador.

9.8. El etiquetado de las piezas en los trabajos de restauración

Identificadas las piezas de los paños de azulejos, las baldosas, cenefas y demás fragmentos decorativos del pavimento a restaurar, empleando para ello el ID distintivo, podremos proceder también al etiquetado de las proyecciones 2D: alzados y plantas.

Son varias las tipologías de etiqueta disponibles en el software BIM, aunque hay proveedores que nos pueden facilitan algunas más efectivas. Las etiquetas funcionan como bloques de texto o símbolos opcionales que se vinculan a los elementos constructivos y a tramas 2D. Suelen mostrar los datos asociados al elemento editado con el objetivo de identificar o comentar fracciones del diseño[221].

Por lo general se suele mostrar en la etiqueta el ID como una identificación básica de todos los elementos del modelo, aunque hay momentos que la información expuesta en la planimetría debe ser enriquecida con más datos, esenciales para las tareas de la disciplina interviniente. Para el caso de la clasificación de piezas en los paños alicatados del Cenador, se utilizaron varios tipos de etiquetado.

- Primeramente se etiquetaron todos los revestimientos de azulejos y las fajas de yeserías por cada paramento empleando una etiqueta que incorporaba un ID abreviado y explícito. Por ejemplo *Az-ND_Cen*, para indicar el paño de Azulejos, la orientación Norte, el sector Derecho y el posicionamiento Central en el paramento.

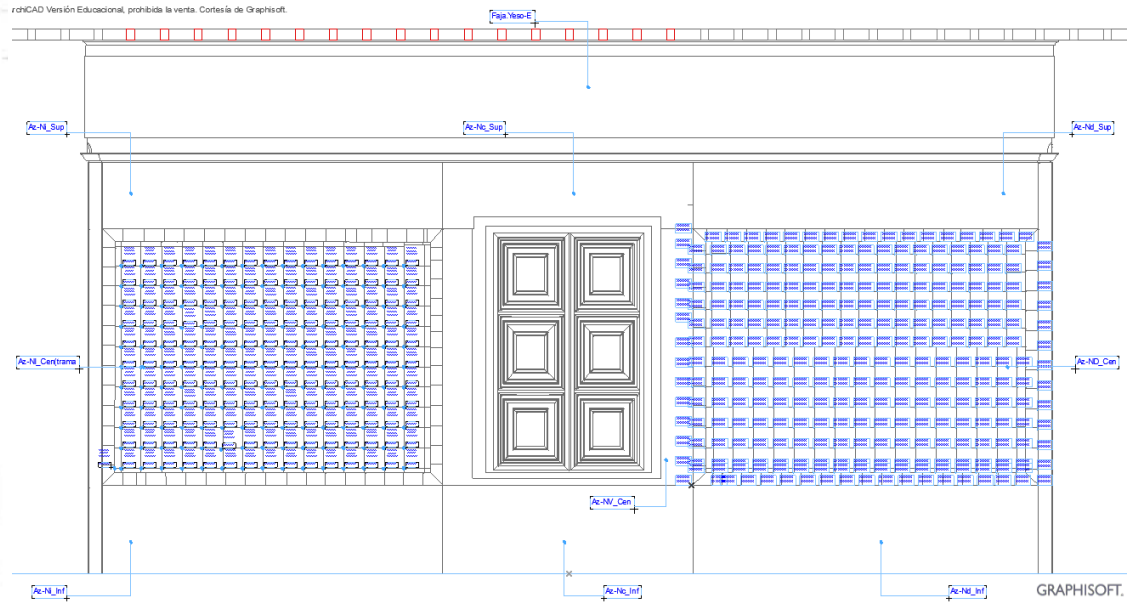


Fig. 416. Etiquetado de los paños de azulejos de la fachada del Cenador orientada al norte.

[221] Las etiqueta pueden estar o no enmarcadas, con líneas testigo y flecha. Pueden contener especificaciones de texto a medida, textos automáticos predefinidos o un símbolo. *Ver* Definiciones de Herramienta Etiqueta: file:///C:/Program%20Files/Graphisoft/ArchiCAD%2017/Ayuda/Files/wwhelp/wwhimpl/js/html/wwhelp.htm#href=Appendix_Tools.13.084.html

- En el proceso de fragmentación de los paños alicatados se volvió a etiquetar en las diferentes piezas, utilizando dos tipologías:

  a. Una etiqueta para especificar él posicionamiento de las mismas respecto a un punto de referencia relativo (extremo inferior izquierda), conformando una matriz de coordenadas que nos permitiría el desmantelamiento del paño para su restauración en taller (aplicado al paño *Az-ND_Cen)*.

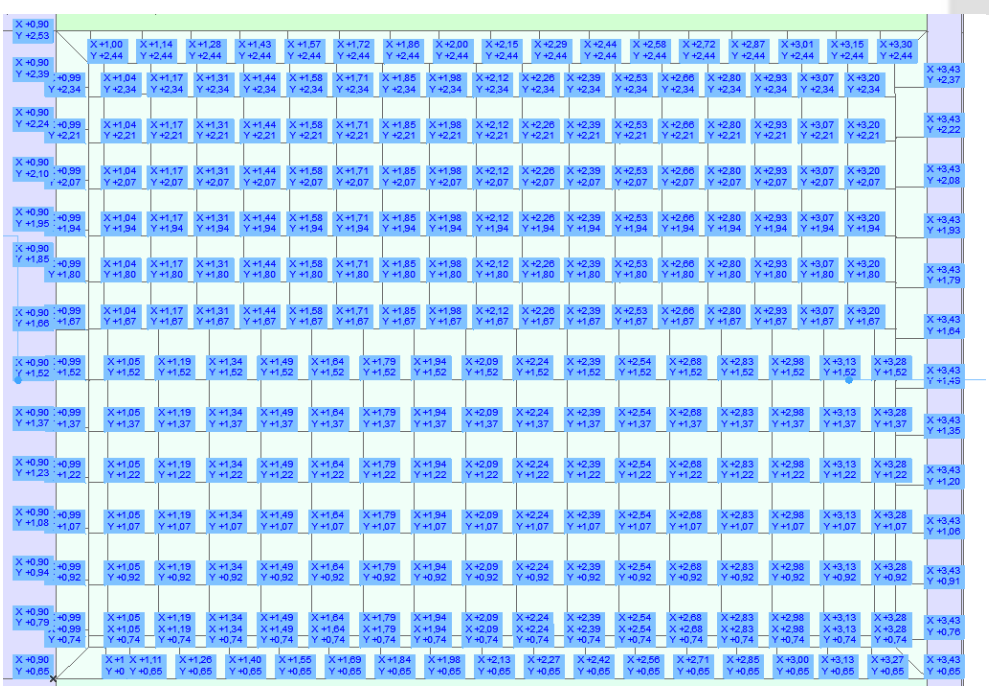


Fig. 417. Etiquetas de las piezas del paño de azulejos *Az-ND_Cen* incorporando coordenadas con referencias relativas a un punto.

  b. Y otro tipo de etiqueta avanzada[222] que nos permite editar anotaciones derivadas de la auscultación de cada pieza: *tipología* de la pieza, *motivo inserto y grado de conservación* (Fig. 418).

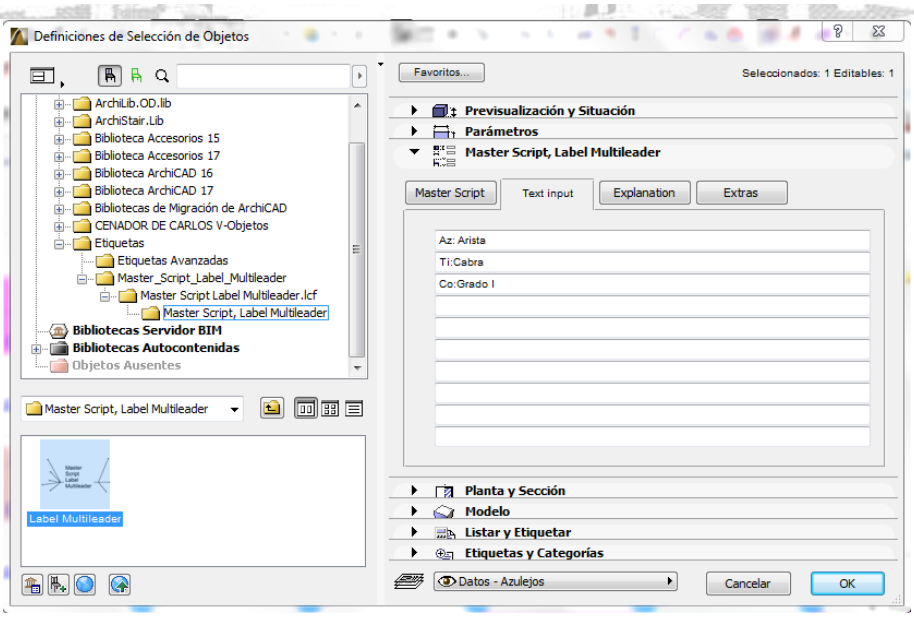


Fig. 418. Definiciones del texto inserto en la etiqueta avanzada *Label Multileader.*

222 En el mercado encontraremos programadores, inspirados en las necesidades de profesionales de la edificación, que proporcionan objetos paramétricos para mejorar la eficiencia del trabajo. La etiqueta *Label Multileader* nos la ha proporcionado Master Script. http://www.masterscript.nl/

Además de una identificación para su clasificación: A001Nci para el azulejo de arista con el animal Cabra como motivo, posicionado en la fachada Norte, sector central, extremo izquierdo (Fig. 419).

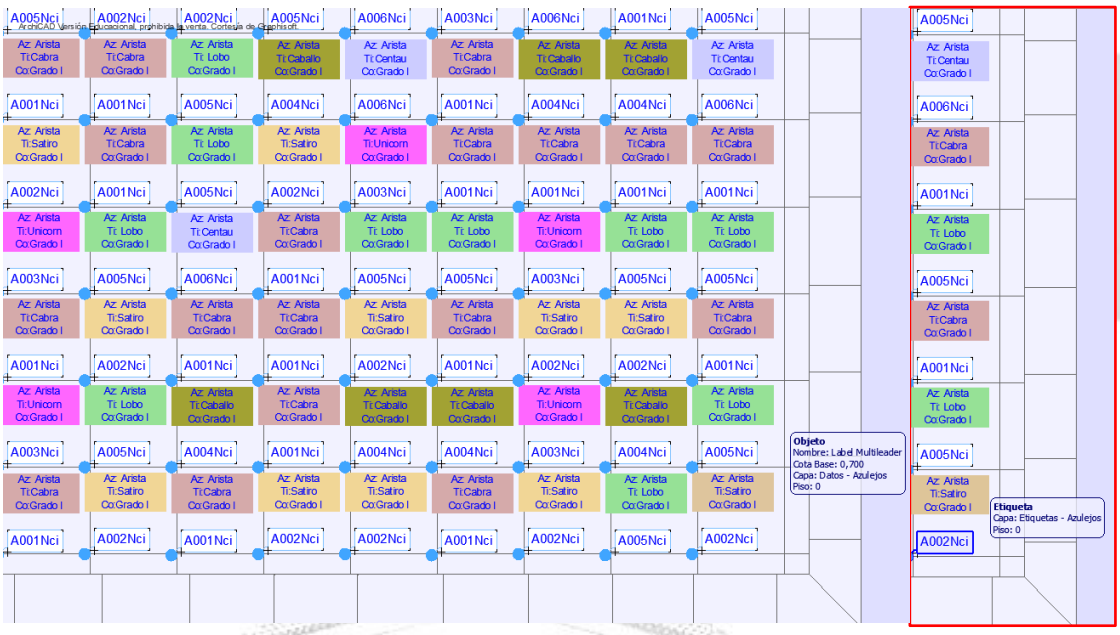
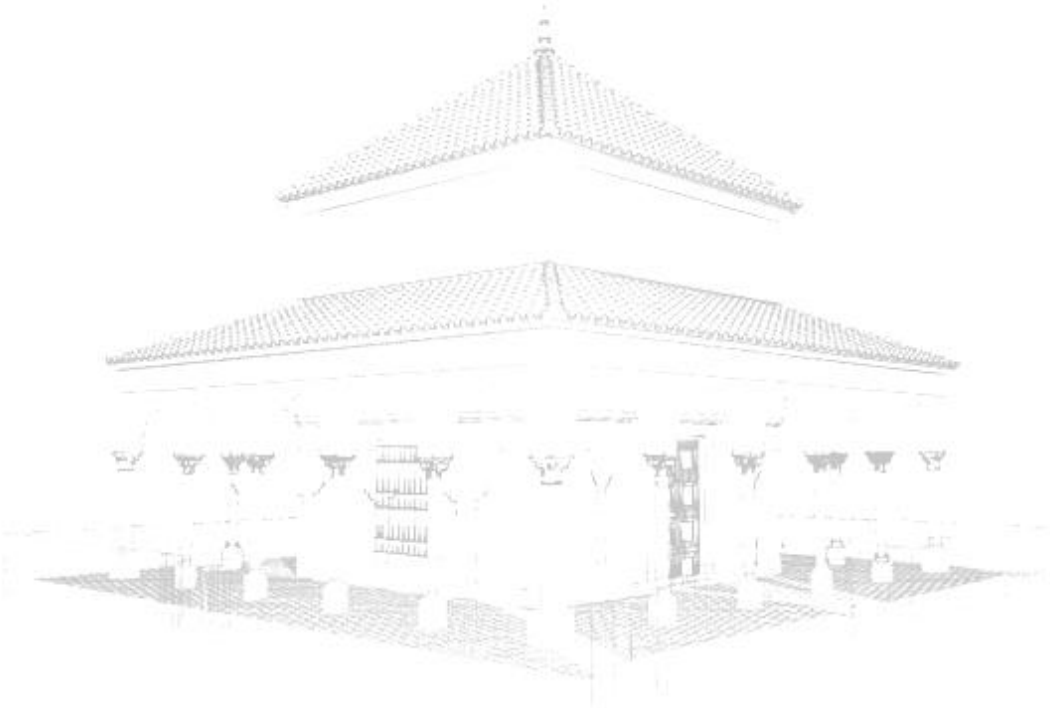


Fig. 419. Alzado parcial del paño *Az-NI_Cen* del Cenador de Carlos V. Se ha colocado una etiqueta avanzada por cada azulejo, mostrando un sello para la clasificación y otro para información de la auscultación.



9.9. Identificación de patologías y singularidades en la Rehabilitación

La herramienta de Marcado de ArchiCAD ha sido muy útil para destacar patologías detectadas en el Cenador de Carlos V. El cargadero colocado sobre los arcos de la logia orientada al norte y las cabezas de las diecisiete vigas del artesonado que apoyaban en él mostraban síntomas de putrefacción por una filtración constante de agua (véanse las imágenes siguientes).

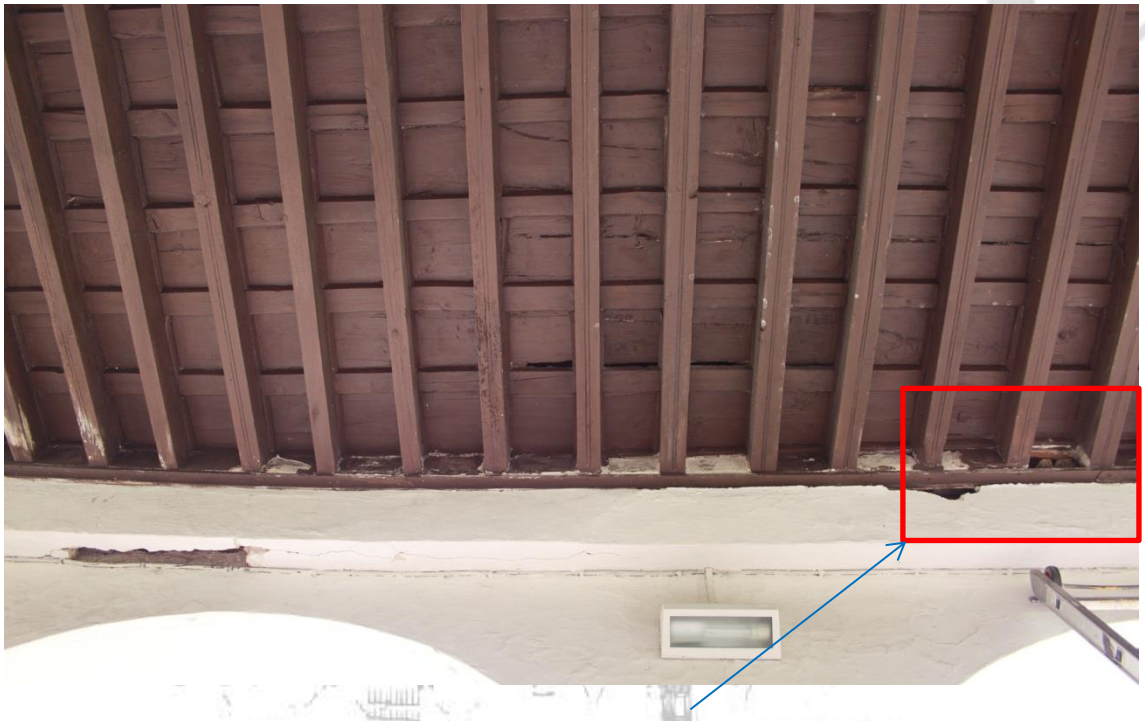


Fig. 420. Imagen de las vigas afectadas por hongos motivadas por las filtraciones en el faldón de la logia Norte.

Fig. 421. a) En la imagen de la izquierda se observa el estado de putrefacción de las cabezas de algunas de las vigas de la logia Norte.

Fig. 422. b) La imagen de la derecha muestra el desplome del artesonado al ceder la viga cargadero que lo soporta. Fotografías del autor. 2012.

El procedimiento consistió en emplear el Marcador de ArchiCAD en el sector descrito, creando primeramente una nueva Entrada denominada *Patología por filtraciones*, asociada a la vista activa *donde se quiere marcar los elementos (*en nuestro caso al piso *Planta Baja)*[223].

Después se identificaron con un color (rojo) para destacar los elementos en las vistas creadas, aunque también elegimos otro color en el caso de incorporar posteriores correcciones o revisiones[224].

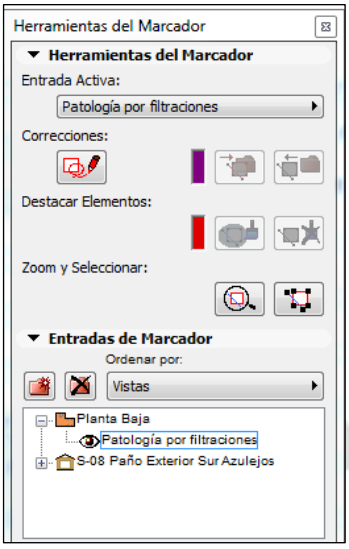


Fig. 423. Ventana de las Herramientas del Marcador de ArchiCAD, con las entradas creadas para el Cenador de Carlos V.

En la vista gráfica pretendimos también que las etiquetas de los elementos marcados permaneciesen visible con su ID, las cuales quedarían igualmente destacadas con el color rojo.

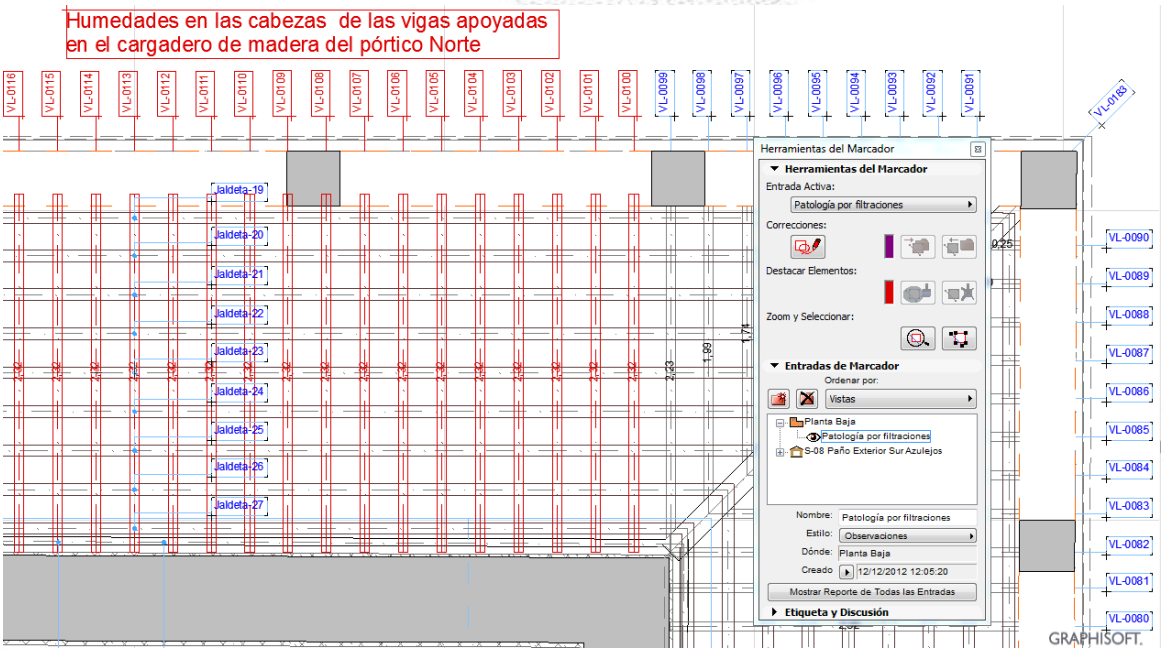
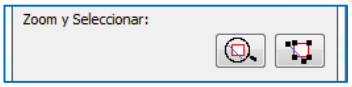


Fig. 424. Planta de Humedades Entramado 1º forjado Norte a +4,05 m, con los elementos destacados en rojo.

Destacar que desde el panel *Herramientas del Marcador* podemos interactuar para realizar zoom sobre zonas de elementos marcados (en función de la entrada activa) o seleccionarlos en la vista con solo pulsar los iconos de la sección *Zoom y Seleccionar*.

Fig. 425. Función Zoom y Seleccionar no permite interactuar en la paleta de Marcador. También está disponible en los listados tipo *Esquemas*.



[223] Una vez activada la paleta Herramientas de Marcador (Documento > Herramientas del Marcador), se inicia la nueva Entrada para añadir el nombre que defina correctamente la singularidad en el modelo.
[224] Para destacar Elementos hay que seleccionar uno o más elementos y hacer clic en el botón *Destacar Elementos*. Se eliminará el destacado de un elemento haciendo clic en el botón *Eliminar Destacado*.
Para convertir elementos en correcciones hay que seleccionar el elemento y activar el botón *Convertir en Correcciones*. Para eliminar las correcciones se debe pulsar el botón *Eliminar Correcciones*.

Finalmente se guardó como la vista *Humedades Entramado 1º forjado Norte* dentro de la carpeta "F03.3.PATOLOGÍAS" del mapa de vistas del Navegador.

También hicimos uso de la herramienta del Marcador *Etiqueta y Discusión* para mostrar en la vista de planta una leyenda aclaratoria de la patología. De este modo, incorporamos junto a las cabezas de las vigas afectadas por hongos y putrefacción el *Texto de Etiqueta*: "Humedades en las cabezas de las vigas apoyadas en el cargadero de madera del pórtico Norte".

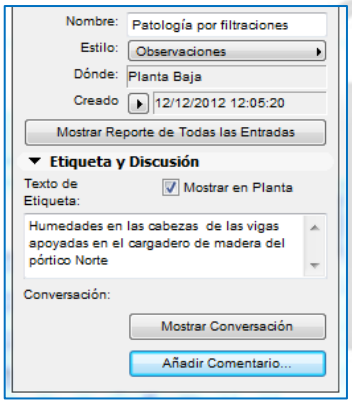
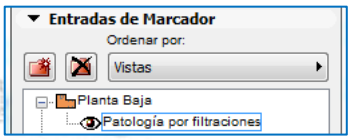


Fig. 426. Incorporación de un Texto de Etiqueta en el apartado de Etiqueta y Discusión del Marcador de ArchiCAD para mostrarlo en la vista de planta.

Estas marcas asociadas a la entrada activa del Marcador quedaron visibles en todas las vistas sacadas al modelo tridimensional. Desde este momento, cuando procedamos a la exploración del modelo BIM visualizaremos los elementos destacados para su perfecta localización, aunque podremos ocultar las marcas en la vista en cualquier momento con solo pulsar el icono "ojo" (cerrar) dentro de la sección *Entradas de Marcador*[225].



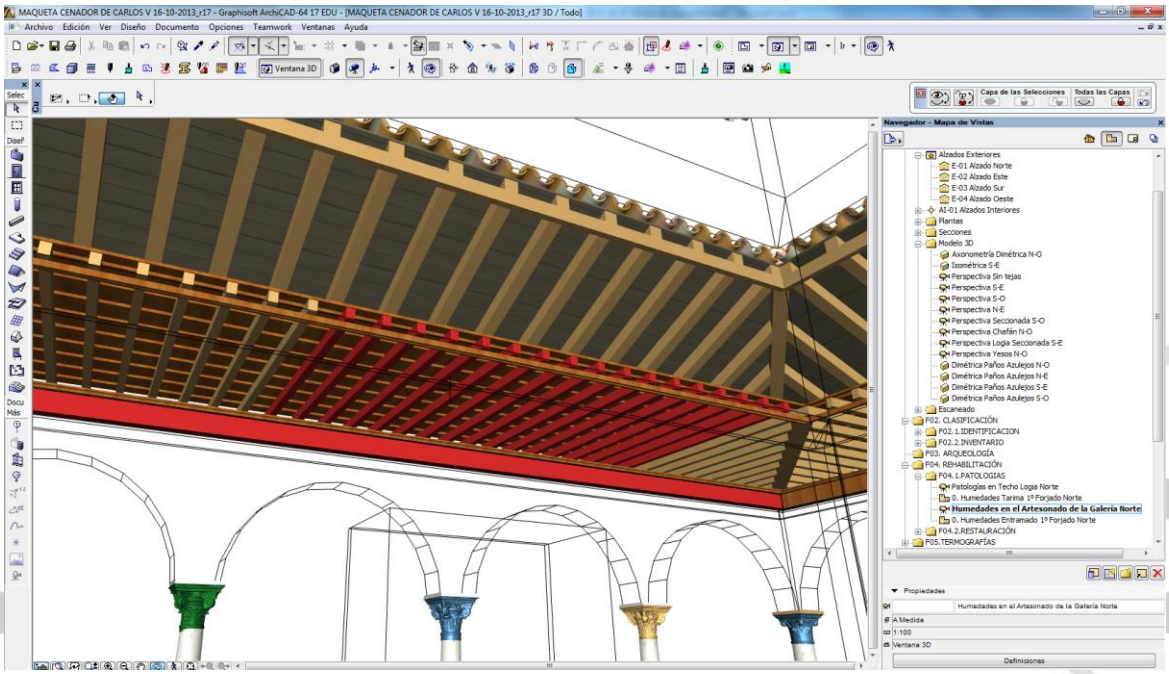


Fig. 427. Visualización de las vigas afectadas en la galería Norte desde el interior del Cenador de Carlos V al dejar los muros en modo alámbricos (activado en la capa que contiene los muros: *Estructura – Muros)*.

[225] Las Entradas de Marcador de un proyecto se visualizan por defecto. Para ocultarlas globalmente, hay que desactivar el control en el cuadro de diálogo Documento > Definir Vista Modelo > Opciones de Vista Modelo.

Si optamos por crear un *Detalle 3D* de la zona marcada, podremos incluso incorporarle anotaciones y acotar los elementos destacados. Esta funcionalidad nos permitió que se destacasen en el detalle las etiquetas asociativas a cada viga marcada (al activar la *Etiqueta* del elemento) (Fig. 428).

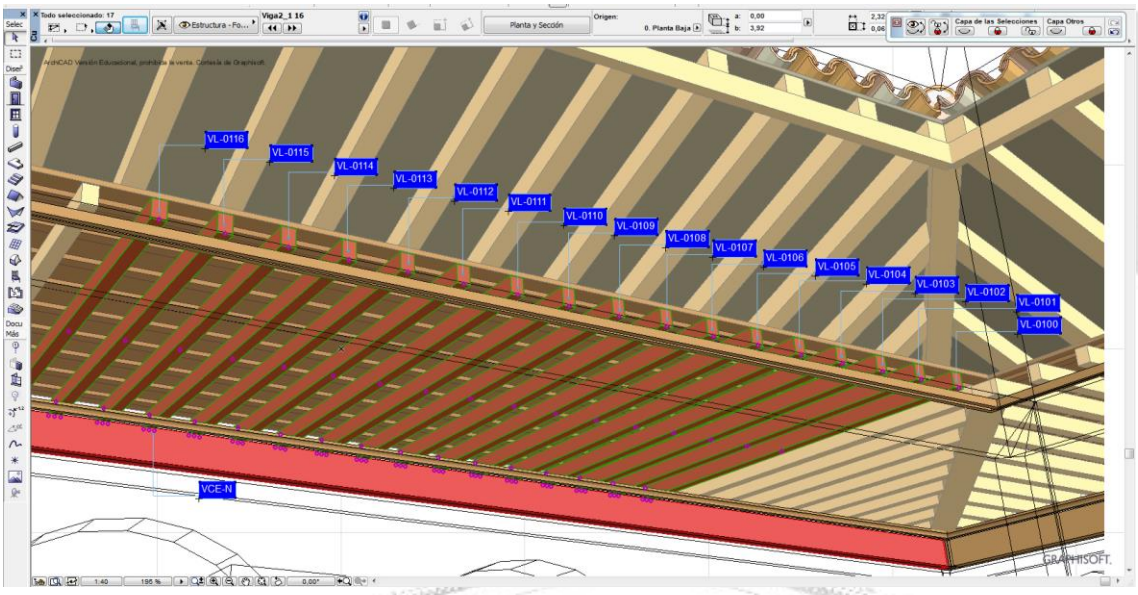


Fig. 428. Vista del Detalle 3D *Humedades en el Artesonado de la Galería Norte*, en el cual quedan visualizadas las etiquetas con el ID de las vigas afectadas.

En definitiva, el procedimiento seguido se ha valido de una identificación de elementos singulares del modelo haciendo uso de las herramientas de marcado y de la etiqueta identificativa. Pero no nos podemos olvidar que disponemos además del asistente de rehabilitación para mostrar el estado en el cual se encuentra la intervención en ese elemento concreto. Para el caso expuesto, al editar las vigas marcadas le asociamos el nuevo Estado de Rehabilitación *A ser Demolido* para indicar que las mismas estaban pendientes de ser intervenidas o sustituidas (Fig. 429).

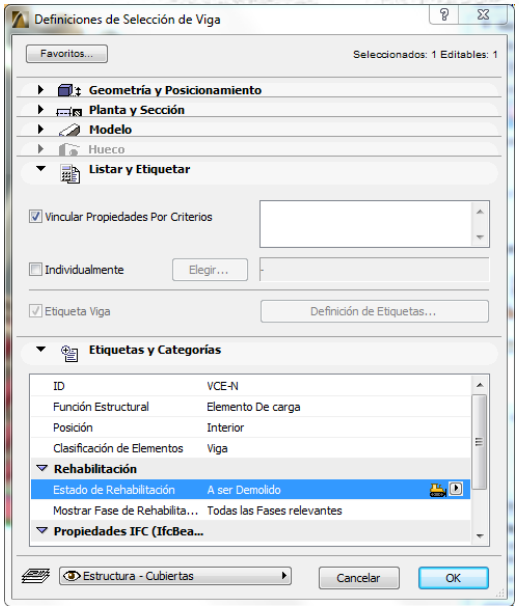


Fig. 429. Edición de la viga cargadero con ID *VCE-N*, con la activación de la Etiqueta Viga. Al asociarle el ID a la etiqueta, este quedará visible en la vista. El Estado de Rehabilitación activo es *A ser Demolido*.

De la misma forma que para las vigas el Marcador también puede aplicarse para los paños de azulejos que se deban de restaurar. No obstante, el marcado de un muro en planta, compuesto de varias tramas (por capas) para diferenciar núcleo y acabados, no sería muy efectivo ya que afectaría al conjunto en sí. En cambio, nuestro proceso de modelaje ha independizado los muros de los revestimientos de azulejos, realizados éstos con la herramienta *Forma* independientemente. Así pues, procederíamos a marcar simplemente estos acabados, que se visualizarían en planta como un conjunto. Pero este método estaría igualmente falto de eficacia al no diferenciar claramente sus piezas en dicha vista. Por lo tanto, lo correcto es mostrarlas en una vista alzado.

Es aquí donde el asistente de rehabilitación juega un papel determinante para clasificar las piezas. El restaurador podrá puntualizar el *Estado de Rehabilitación* adecuado al estado de conservación de la pieza y después ser incorporada la información en la casilla habilitada como un ítem más del listado *Esquema* (Fig. 430, Fig. 431).

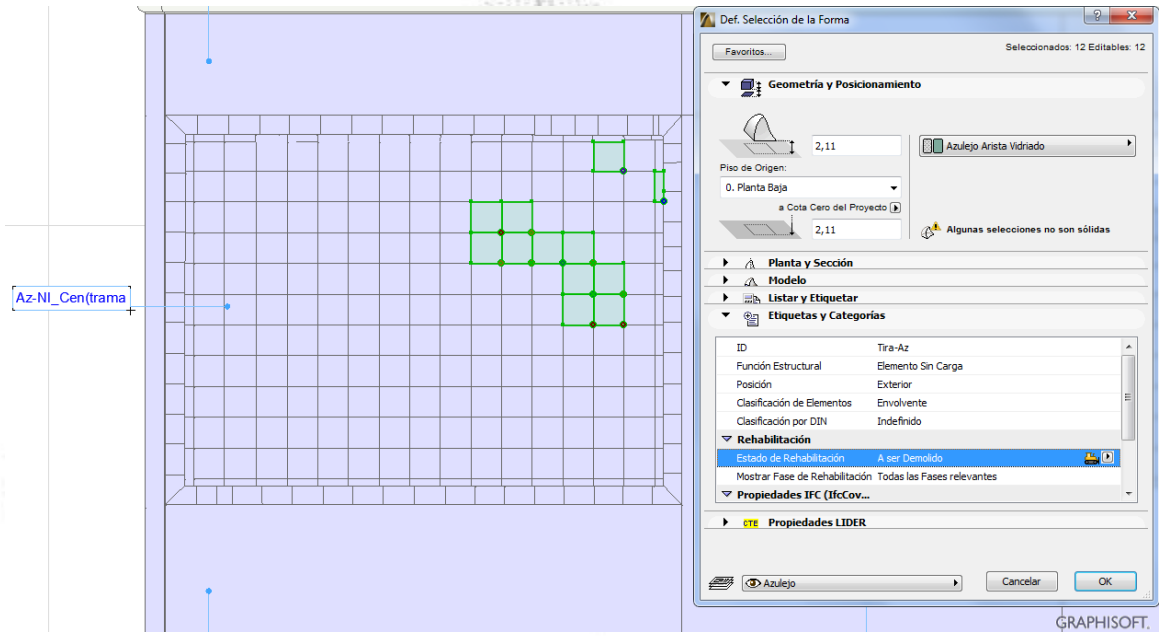
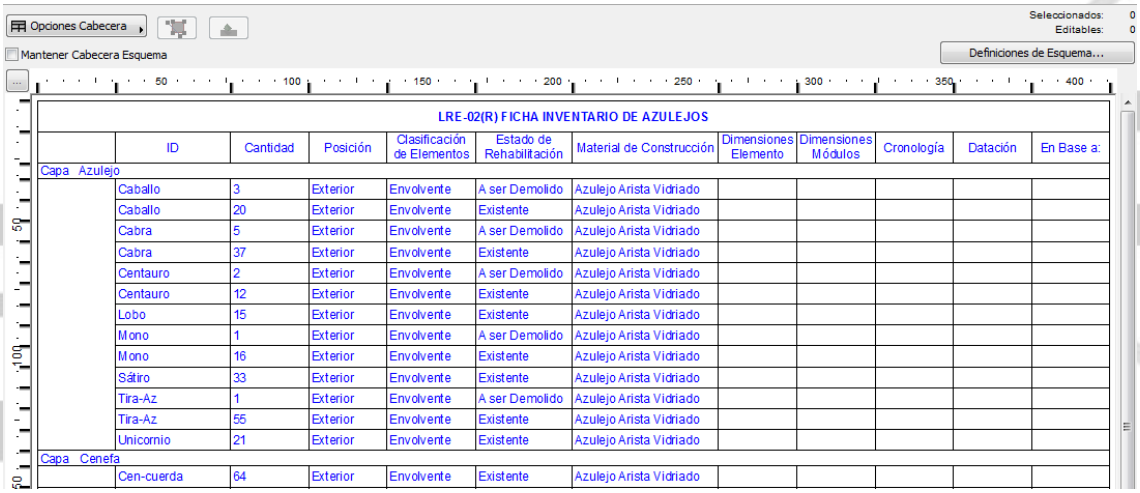


Fig. 430. Selección de las piezas deterioradas del paño central del lateral izquierdo de la fachada Norte del Cenador de Carlos V. La edición nos permitirá cambiar el Estado de Rehabilitación *A ser Demolido*.

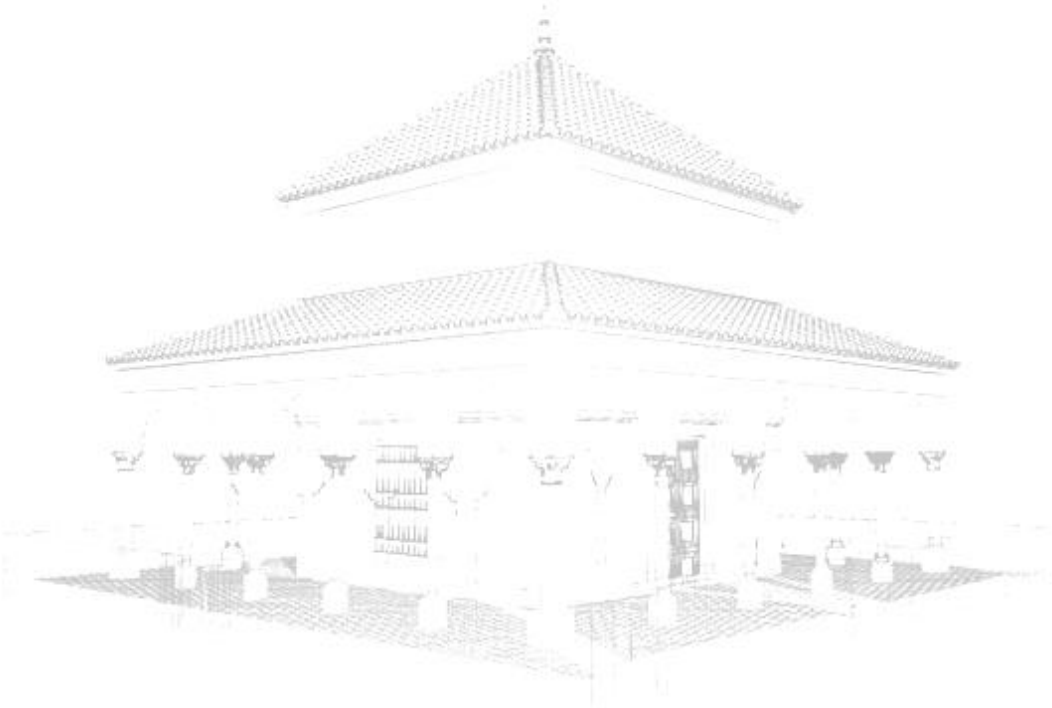


Opciones Cabecera
Mantener Cabecera Esquema
Seleccionados: 0
Editables: 0
Definiciones de Esquema...

LRE-02(R) FICHA INVENTARIO DE AZULEJOS

	ID	Cantidad	Posición	Clasificación de Elementos	Estado de Rehabilitación	Material de Construcción	Dimensiones Elemento	Dimensiones Módulos	Cronología	Datación	En Base a:
Capa Azulejo											
	Caballo	3	Exterior	Envolvente	A ser Demolido	Azulejo Arista Vidriado					
	Caballo	20	Exterior	Envolvente	Existente	Azulejo Arista Vidriado					
	Cabra	5	Exterior	Envolvente	A ser Demolido	Azulejo Arista Vidriado					
	Cabra	37	Exterior	Envolvente	Existente	Azulejo Arista Vidriado					
	Centauro	2	Exterior	Envolvente	A ser Demolido	Azulejo Arista Vidriado					
	Centauro	12	Exterior	Envolvente	Existente	Azulejo Arista Vidriado					
	Lobo	15	Exterior	Envolvente	Existente	Azulejo Arista Vidriado					
	Mono	1	Exterior	Envolvente	A ser Demolido	Azulejo Arista Vidriado					
	Mono	16	Exterior	Envolvente	Existente	Azulejo Arista Vidriado					
	Sátiro	33	Exterior	Envolvente	Existente	Azulejo Arista Vidriado					
	Tira-Az	1	Exterior	Envolvente	A ser Demolido	Azulejo Arista Vidriado					
	Tira-Az	55	Exterior	Envolvente	Existente	Azulejo Arista Vidriado					
	Unicornio	21	Exterior	Envolvente	Existente	Azulejo Arista Vidriado					
Capa Cenefa											
	Cen-cuerda	64	Exterior	Envolvente	Existente	Azulejo Arista Vidriado					

Fig. 431. Visualización de la *Ficha Inventario de Azulejos* del paño Norte. Listado tipo Esquema de ArchiCAD.



9.10. Listados de elementos para la Rehabilitación

El flujo de trabajo en proyectos de rehabilitación no finaliza con la sola gestión de la visualización de los elementos del modelo, sino además debe estar complementado con los listados de datos para establecer las cantidades totales de las fracciones integrantes en el edificio examinado, de aquellos elementos que deben demolerse y de los nuevos materiales de construcción que deben adquirirse para la rehabilitación.

9.10.1. Listados e informes de cálculo

Los listados de cálculo están pensados para estructurar la información del modelo BIM, constituyendo un conjunto de instrucciones definido en un principio por el software, permitiéndonos procesar y presentar los datos del proyecto. Para estructurar un proyecto viable de intervención en el patrimonio arquitectónico, a los modelos de experimentación propuestos se les han incorporado un conjunto de listados personalizados para clasificar y presentar los datos de la maqueta modelada.

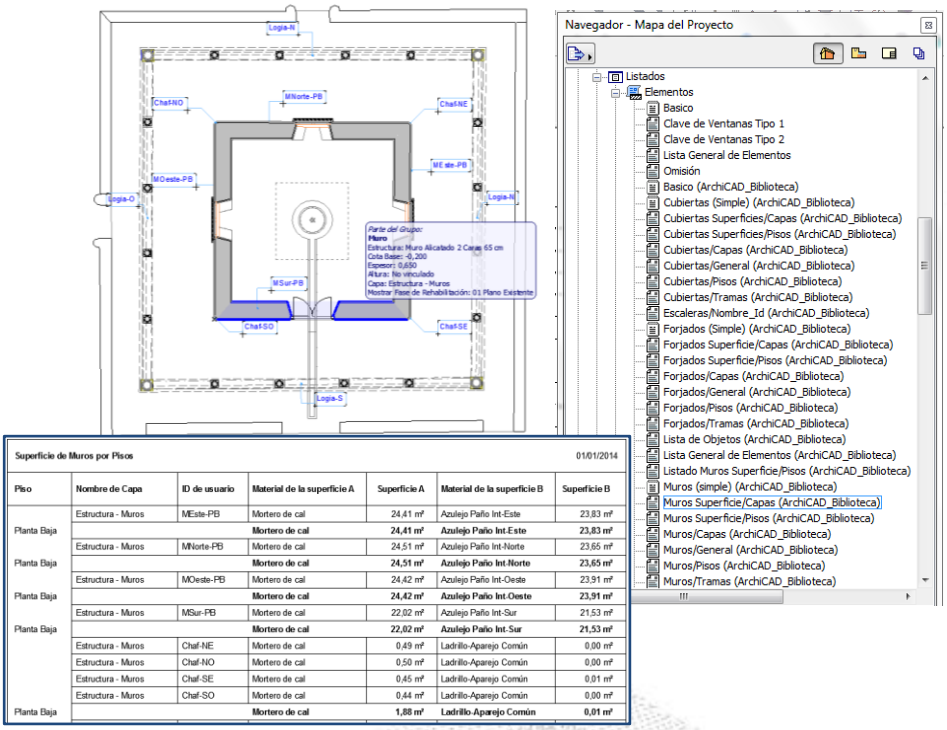
ArchiCAD nos facilita tres tipos de listados o informes de cálculo, pensados para cubrir una tarea específica dentro del listado de datos:

1. *Listados de Elementos.* ArchiCAD filtra el proyecto o la selección de elementos constructivos de acuerdo con la configuración del Esquema de Lista seleccionado. Los elementos que se ajusten a las condiciones del filtro serán listados junto con sus Parámetros, Componentes y Descriptores. Se usan para crear listas e inventarios, y para visualizar los parámetros de los elementos constructivos del proyecto.

2. *Listas de Componentes.* Se utilizan cuando se necesitan registros de materiales, estimaciones de cantidades o listados de precios.

3. *Listados de Zonas.* Muy indicados para listar la información de recintos o habitaciones, generalmente sustraídas con la herramienta *Zona*: categoría, superficie, perímetro, altura e información de los revestimientos. Pero, además de los parámetros de la zona, también pueden incluir elementos de construcción relacionados con ellas: por ejemplo, información de las puertas y las ventanas asociadas al recinto.

De las tres tipologías anteriores, hemos empleado los listados de elementos para sustraer principalmente las superficies de muros, forjados y cubiertas del modelo BIM (Fig. 432).

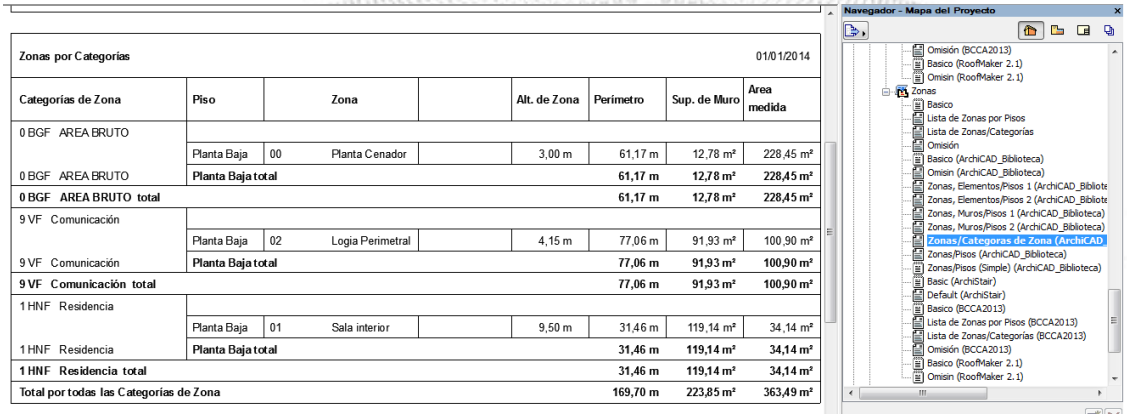


Superficie de Muros por Pisos 01/01/2014

Piso	Nombre de Capa	ID de usuario	Material de la superficie A	Superficie A	Material de la superficie B	Superficie B
	Estructura - Muros	MEste-PB	Mortero de cal	24,41 m²	Azulejo Paño Int-Este	23,83 m²
Planta Baja			**Mortero de cal**	**24,41 m²**	**Azulejo Paño Int-Este**	**23,83 m²**
	Estructura - Muros	MNorte-PB	Mortero de cal	24,51 m²	Azulejo Paño Int-Norte	23,65 m²
Planta Baja			**Mortero de cal**	**24,51 m²**	**Azulejo Paño Int-Norte**	**23,65 m²**
	Estructura - Muros	MOeste-PB	Mortero de cal	24,42 m²	Azulejo Paño Int-Oeste	23,91 m²
Planta Baja			**Mortero de cal**	**24,42 m²**	**Azulejo Paño Int-Oeste**	**23,91 m²**
	Estructura - Muros	MSur-PB	Mortero de cal	22,02 m²	Azulejo Paño Int-Sur	21,53 m²
Planta Baja			**Mortero de cal**	**22,02 m²**	**Azulejo Paño Int-Sur**	**21,53 m²**
	Estructura - Muros	Chaf-NE	Mortero de cal	0,49 m²	Ladrillo-Aparejo Común	0,00 m²
	Estructura - Muros	Chaf-NO	Mortero de cal	0,50 m²	Ladrillo-Aparejo Común	0,00 m²
	Estructura - Muros	Chaf-SE	Mortero de cal	0,45 m²	Ladrillo-Aparejo Común	0,01 m²
	Estructura - Muros	Chaf-SO	Mortero de cal	0,44 m²	Ladrillo-Aparejo Común	0,00 m²
Planta Baja			**Mortero de cal**	**1,88 m²**	**Ladrillo-Aparejo Común**	**0,01 m²**

Fig. 432. La ventana muestra el listado de Superficies de Muros en el piso Planta Baja del Cenador de Carlos V.

Para la obtención de las áreas de recintos hemos utilizado los listados de Zonas (Fig. 433).



Zonas por Categorías 01/01/2014

Categorías de Zona	Piso	Zona		Alt. de Zona	Perímetro	Sup. de Muro	Area medida
0 BGF AREA BRUTO							
	Planta Baja	00 Planta Cenador		3,00 m	61,17 m	12,78 m²	228,45 m²
0 BGF AREA BRUTO	**Planta Baja total**				**61,17 m**	**12,78 m²**	**228,45 m²**
0 BGF AREA BRUTO total					**61,17 m**	**12,78 m²**	**228,45 m²**
9 VF Comunicación							
	Planta Baja	02 Logia Perimetral		4,15 m	77,06 m	91,93 m²	100,90 m²
9 VF Comunicación	**Planta Baja total**				**77,06 m**	**91,93 m²**	**100,90 m²**
9 VF Comunicación total					**77,06 m**	**91,93 m²**	**100,90 m²**
1 HNF Residencia							
	Planta Baja	01 Sala interior		9,50 m	31,46 m	119,14 m²	34,14 m²
1 HNF Residencia	**Planta Baja total**				**31,46 m**	**119,14 m²**	**34,14 m²**
1 HNF Residencia total					**31,46 m**	**119,14 m²**	**34,14 m²**
Total por todas las Categorías de Zona					**169,70 m**	**223,85 m²**	**363,49 m²**

Fig. 433. Listado de Zonas por Categorías del Cenador de Carlos V.

En cambio, para las vigas y pares de los techos y cubiertas ha sido más útil los listados interactivos tipo *Esquemas*, como explicaremos en el apartado siguiente. También lo empleamos para crear cuadros de datos (superficie, altura, perímetro, tipo de pavimento,..., etc.) de las Zonas ya identificadas, por ser más fácil el filtrado de información y por tener la ventaja de insertarse en la planimetría junto a la vista en planta.

9.10.2. Listados Interactivos o Esquemas

El segundo bloque de datos lo componen los listados interactivos, que permiten generar esquemas al igual que las listas simples relacionadas en el apartado anterior, pero con el añadido de que el usuario interactúa de manera muy flexible con los datos editados y su visualización en el plano. Podremos visualizar y

modificar resultados de una entrada de datos errónea o de la combinación del trabajo de diferentes personas en diferentes partes del mismo proyecto.

El Esquema es muy útil a la hora de corregir identificaciones o dimensiones de los elementos antes de agruparos por categorías. Si hemos listado el Esquema de Carpinterías de un proyecto con un número determinado de puertas de la misma altura y ancho, identificadas con un ID del tipo *P1,* podremos detectar las anomalías en dimensiones y marcar directamente el elemento desde el listado para la corrección de la medida errónea. Pero a la vez tendremos vinculación con su ubicación en la vista gráfica (2D o 3D) y verificar si hay alguna razón para esta anomalía. Si fue un error, podemos corregir la definición en el listado interactivo y automáticamente actualizar la puerta en todas las vistas.

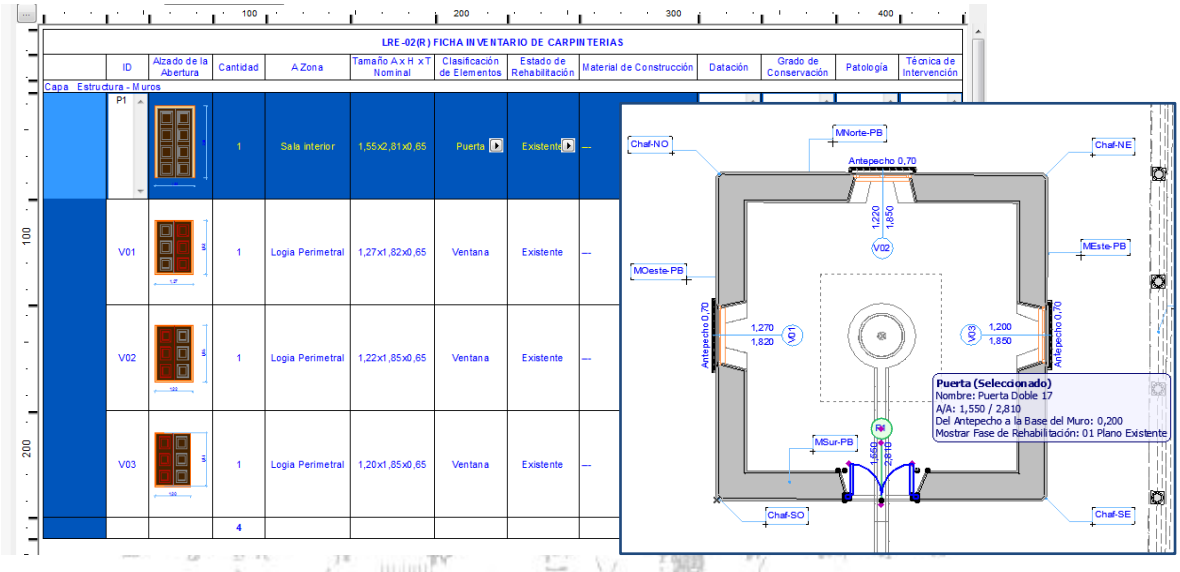
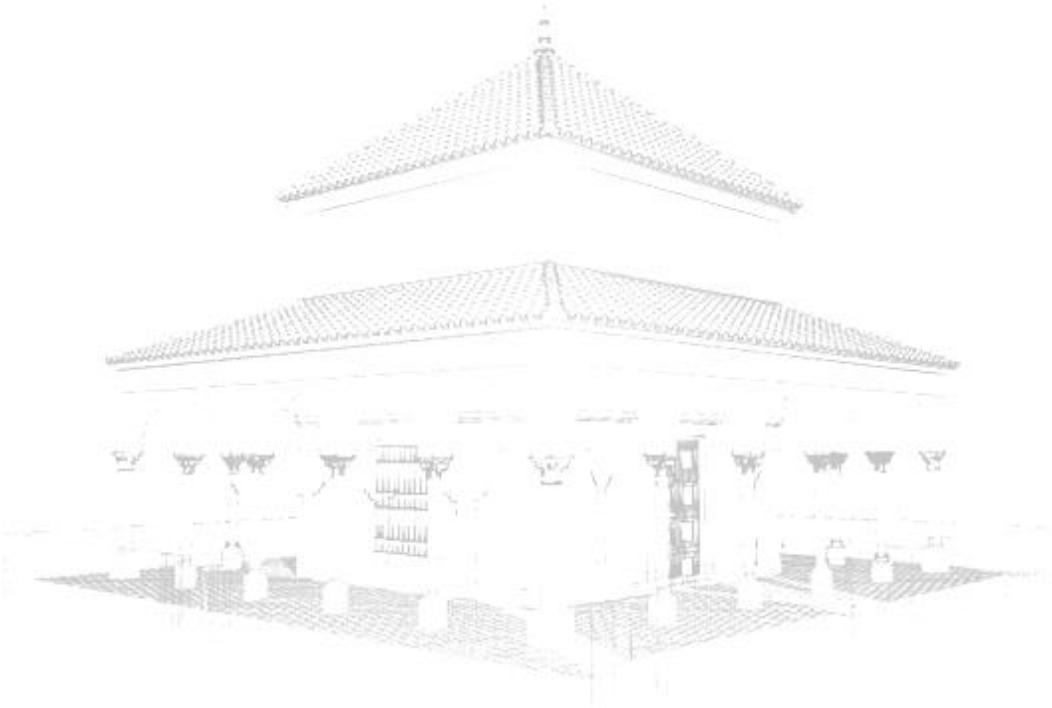


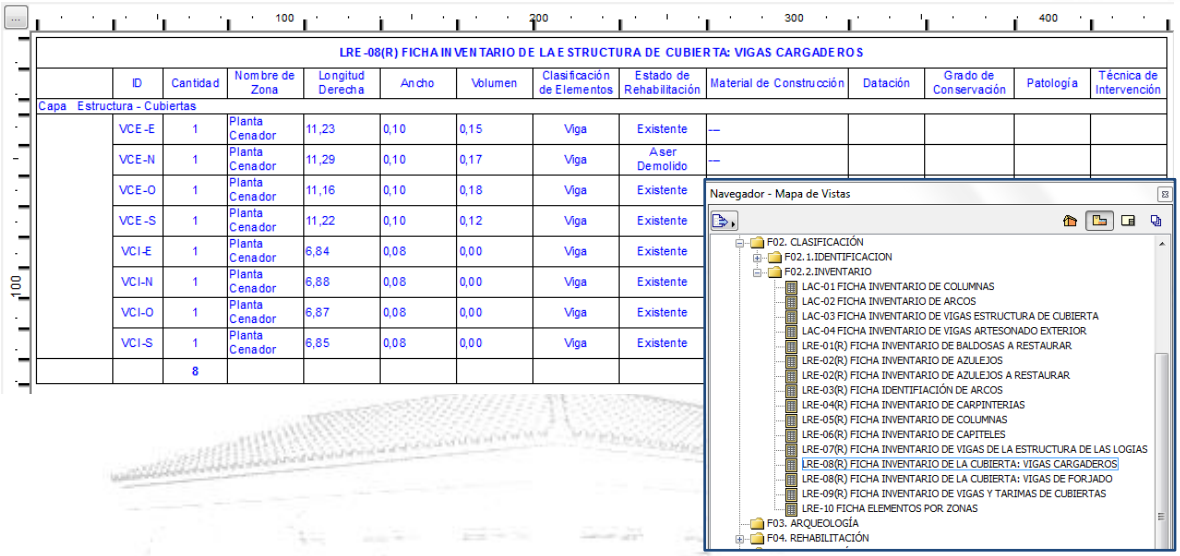
Fig. 434. La selección de la puerta P1en el listado interactivo *Esquema* de ArchiCAD nos permite acceder a la planta 2D o vista 3D para visualizarla en el modelo. Ficha Inventario de Carpinterías del Cenador de Carlos V.



9.11. Inventario de elementos del proyecto HBIM

Para la cuestión que nos aguarda, un modelo central de información efectivo en una intervención multidisciplinar, es fundamental el empleo de una documentación identificativa, tanto gráfica como basada en listados de datos, que cubra las labores de inventario de los elementos arqueólogos y arquitectónicos.

Hemos empleado los listados interactivos para crear las Fichas Inventario de los elementos arquitectónicos del edificio histórico. Explicaremos ahora el procedimiento seguido para la confección de los mismos.



LRE-08(R) FICHA INVENTARIO DE LA ESTRUCTURA DE CUBIERTA: VIGAS CARGADEROS

	ID	Cantidad	Nombre de Zona	Longitud Derecha	Ancho	Volumen	Clasificación de Elementos	Estado de Rehabilitación	Material de Construcción	Datación	Grado de Conservación	Patología	Técnica de Intervención
Capa Estructura - Cubiertas													
	VCE-E	1	Planta Cenador	11,23	0,10	0,15	Viga	Existente	---				
	VCE-N	1	Planta Cenador	11,29	0,10	0,17	Viga	A ser Demolido	---				
	VCE-O	1	Planta Cenador	11,16	0,10	0,18	Viga	Existente					
	VCE-S	1	Planta Cenador	11,22	0,10	0,12	Viga	Existente					
	VCI-E	1	Planta Cenador	6,84	0,08	0,00	Viga	Existente					
	VCI-N	1	Planta Cenador	6,88	0,08	0,00	Viga	Existente					
	VCI-O	1	Planta Cenador	6,87	0,08	0,00	Viga	Existente					
	VCI-S	1	Planta Cenador	6,85	0,08	0,00	Viga	Existente					
		8											

Fig. 435. Las Fichas para el Inventario de elementos del Cenador de Carlos V se han confeccionado con el listado interactivo *Esquema* de ArchiCAD.

Primeramente se han establecido los *criterios* básicos que van a regir la base de datos y que nos filtrarán la información que queremos mostrar. El agrupado de elementos por su *tipología* constructiva, la *capa* contenedora, el *material de construcción* empleado, la *posición* en el modelo (interior, exterior) y el *estado de rehabilitación* entre otros criterios[226], nos han servido para clasificar los elementos incluidos en el modelo por familias o tipologías constructivas, identificar las piezas insertas en los paños de alicatados y pavimentos a restaurar, crear una base de datos de las unidades estratigráficas (identificadas en el estudio paramental), e incluso listar las patologías y deformaciones detectadas en ciertos elementos del edificio[227] (Fig. 436).

[226] Una vez marcado el criterio, en la segunda columna *valor* se elige el tipo entre las opciones disponibles. Si se introducen varios criterios en la lista, el nuevo podrá actuar de manera complementaria al anterior (introduciendo el valor "y" en la tercera columna) o como alternativa o exclusión (con el valor "o").
[227] Los Totales obtenidos en los cálculos de los Esquemas están referidos a elementos que tengan el mismo campo identificador: Tipo de elemento, dimensiones, ID,..., etc.

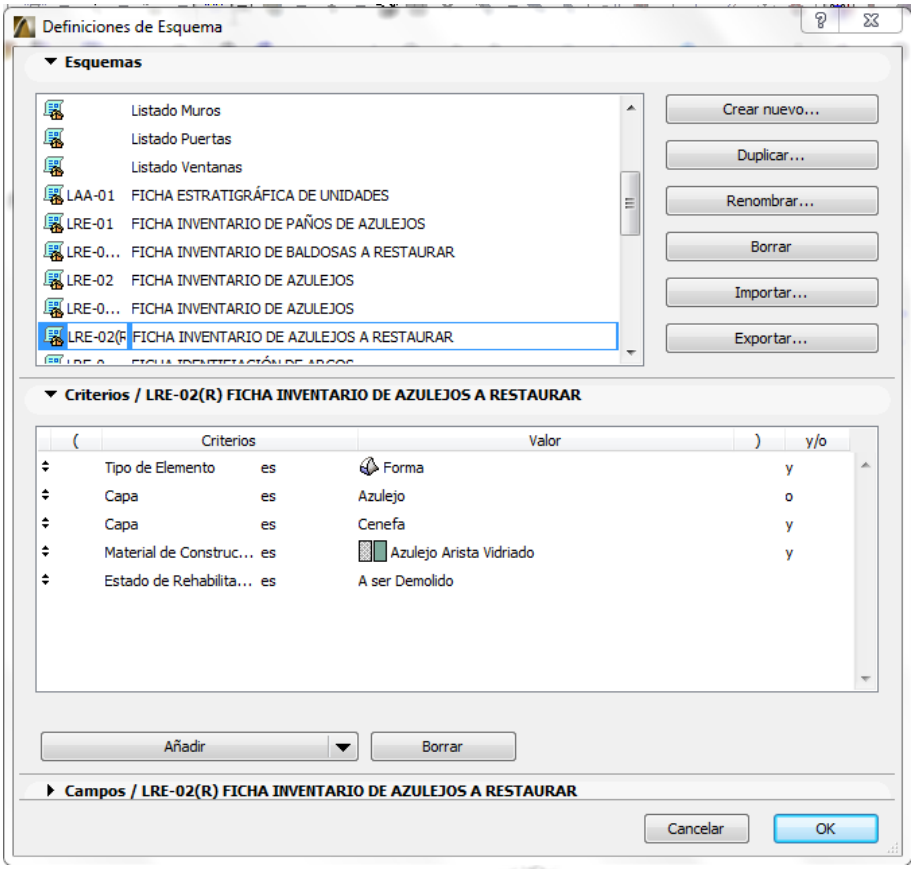


Fig. 436. Definición de un Esquema de ArchiCAD creado para el inventario de los azulejos a restaurar en el Cenador de Carlos V.

En una segunda sección de Definiciones de Esquema hemos elegido los campos fundamentales que van a visualizarse en el esquema de los listados: capa, ID, cantidad, tamaño, posición, clasificación de elementos, estado de rehabilitación, material de construcción, área de la superficie, etc. Pero a estos parámetros estándares asociados a los elementos antes filtrados, les hemos añadido otros que variarán en función de la disciplina a la que auxilian y el tipo de información específica que cubran.

Para el especialista en restauración, hemos incorporado a la ficha varios textos a medida fundamentales en el trabajo de análisis, como son cronología, datación, temporalidad, grado de conservación y las cuatro agresiones más habituales: atmosférica, biológica, mecánica y química (Fig. 437).

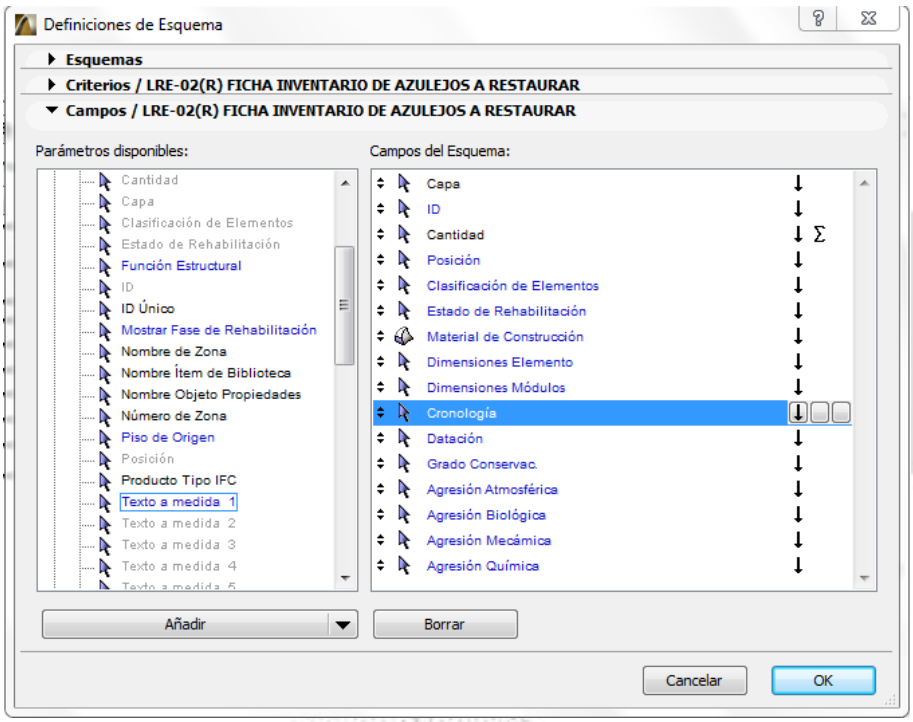
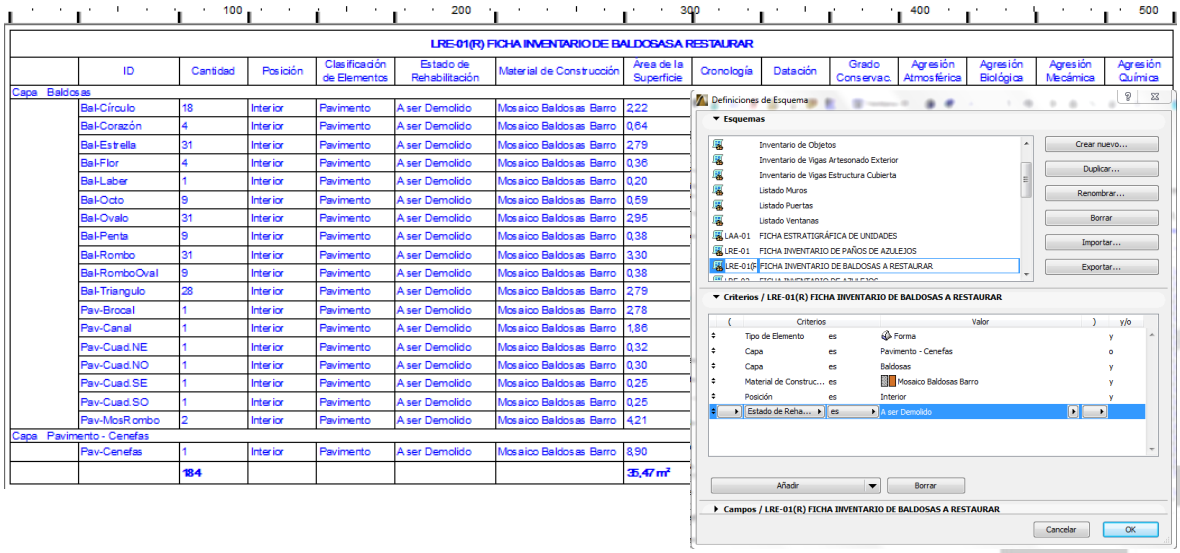


Fig. 437. Elección de los *Campos para la Ficha Inventario de Baldosas a Restaurar* del listado Esquema entre los parámetros disponibles de ArchiCAD.

Estos parámetros se repetirán para todos los revestimientos del edificio intervenido, obteniendo fichas específicas para que el restaurador pueda examinar y catalogar las piezas insertas en pavimentos, paños de azulejos, yeserías y artesonados del edificio inspeccionado.



LRE-01(R) FICHA INVENTARIO DE BALDOSAS A RESTAURAR

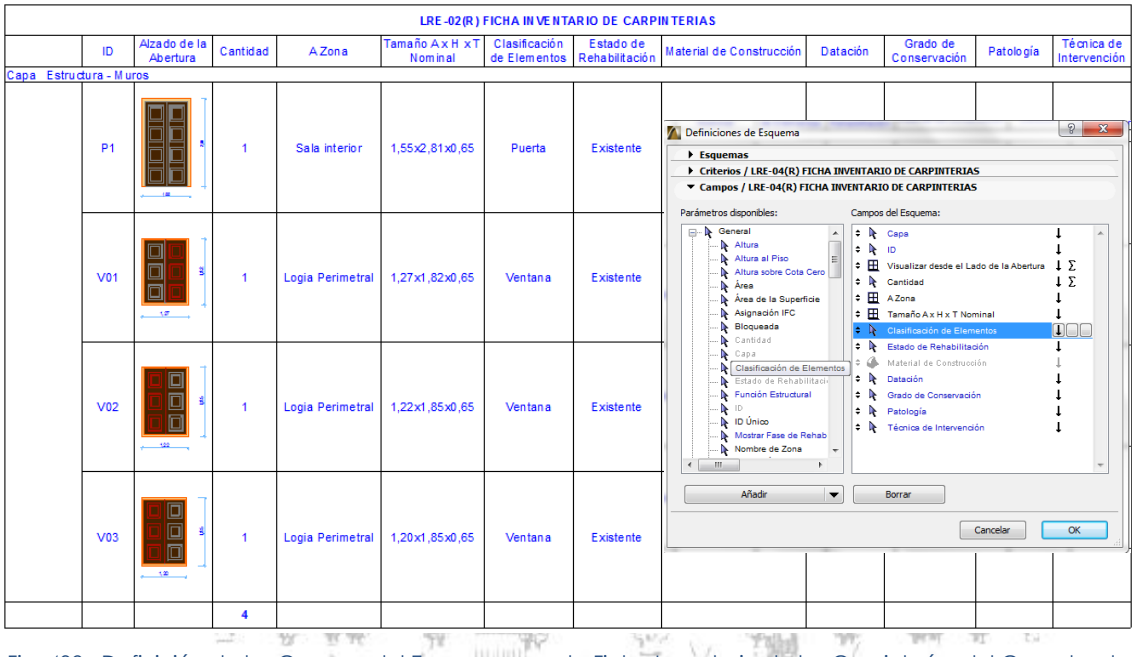
	ID	Cantidad	Posición	Clasificación de Elementos	Estado de Rehabilitación	Material de Construcción	Area de la Superficie	Cronología	Datación	Grado Conservac.	Agresión Atmosférica	Agresión Biológica	Agresión Mecánica	Agresión Química
Capa Baldosas														
	Bal-Círculo	18	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	2,22							
	Bal-Corazón	4	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	0,64							
	Bal-Estrella	31	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	2,79							
	Bal-Flor	4	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	0,36							
	Bal-Laber	1	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	0,20							
	Bal-Octo	9	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	0,59							
	Bal-Ovalo	31	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	2,95							
	Bal-Penta	9	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	0,38							
	Bal-Rombo	31	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	3,30							
	Bal-RomboOval	9	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	0,38							
	Bal-Triangulo	28	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	2,79							
	Pav-Brocal	1	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	2,78							
	Pav-Canal	1	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	1,86							
	Pav-Cuad.NE	1	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	0,32							
	Pav-Cuad.NO	1	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	0,30							
	Pav-Cuad.SE	1	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	0,25							
	Pav-Cuad.SO	1	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	0,25							
	Pav-MosRombo	2	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	4,21							
Capa Pavimento - Cenefas														
	Pav-Cenefas	1	Interior	Pavimento	A ser Demolido	Mosaico Baldosas Barro	8,90							
		184					35,47 m²							

Fig. 438. Definición de los Criterios y su Valor en el Esquema de ArchiCAD creado para el Inventario de las Baldosas a Restaurar del pavimento de la sala del Cenador de Carlos V.

En la planimetría anexa a la memoria del proyecto de tesis se incorporan todos las fichas de inventario de los elementos por categorías más relevantes del Cenador de Carlos V, junto a una representación gráfica en planta del modelo BIM que incluye sus ID identificativos.

9.11.1. Listar Carpinterías y otros elementos arquitectónicos singulares

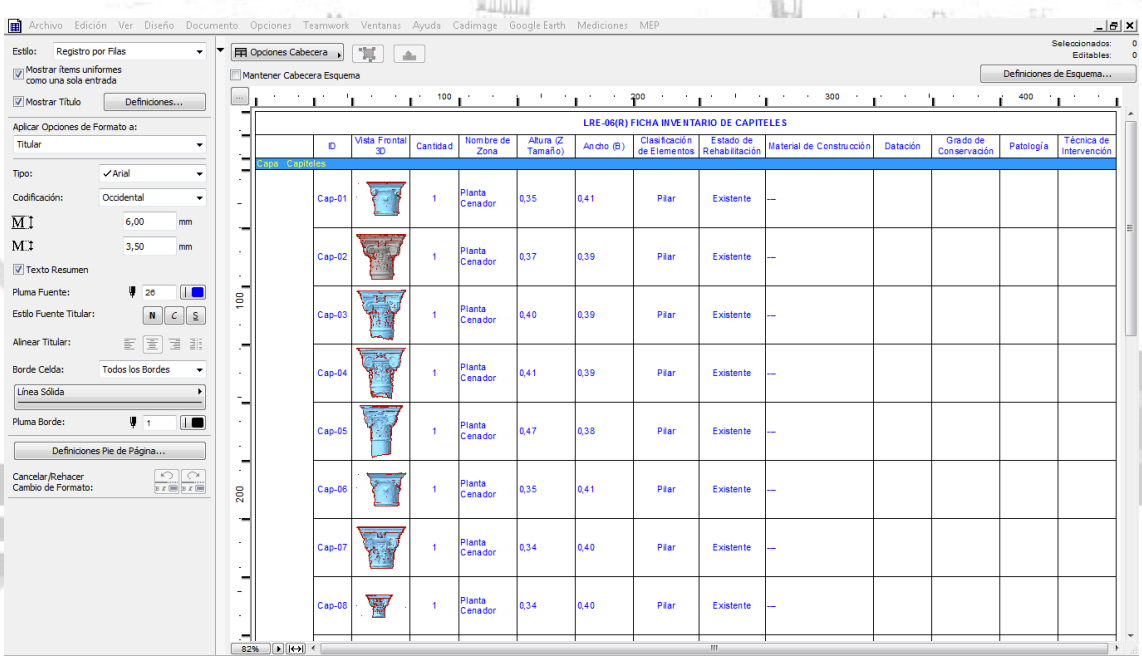
También hemos usado el listado interactivo Esquema para listar elementos arquitectónicos singulares que no se corresponden con sistemas constructivos completos (fábricas de muros, tipologías de forjados o estructuras de cubiertas), entre los cuales se encuentran: puertas, ventanas, hornacinas y arcos para los huecos en muros (Fig. 439); y capiteles, columnas y remates como piezas arquitectónicas características del edificio histórico (Fig. 440).



LRE-02(R) FICHA INVENTARIO DE CARPINTERIAS

	ID	Alzado de la Abertura	Cantidad	A Zona	Tamaño A x H x T Nominal	Clasificación de Elementos	Estado de Rehabilitación	Material de Construcción	Datación	Grado de Conservación	Patología	Técnica de Intervención
Capa Estructura - Muros												
	P1		1	Sala interior	1,55x2,81x0,65	Puerta	Existente					
	V01		1	Logia Perimetral	1,27x1,82x0,65	Ventana	Existente					
	V02		1	Logia Perimetral	1,22x1,85x0,65	Ventana	Existente					
	V03		1	Logia Perimetral	1,20x1,85x0,65	Ventana	Existente					
			4									

Fig. 439. Definición de los Campos del Esquema para la Ficha Inventario de las Carpinterías del Cenador de Carlos V.



LRE-06(R) FICHA INVENTARIO DE CAPITELES

	ID	Vista Frontal 3D	Cantidad	Nombre de Zona	Altura (Z Tamaño)	Ancho (B)	Clasificación de Elementos	Estado de Rehabilitación	Material de Construcción	Datación	Grado de Conservación	Patología	Técnica de Intervención
Capa Capiteles													
	Cap-01		1	Planta Cenador	0,35	0,41	Pilar	Existente	---				
	Cap-02		1	Planta Cenador	0,37	0,39	Pilar	Existente	---				
	Cap-03		1	Planta Cenador	0,40	0,39	Pilar	Existente	---				
	Cap-04		1	Planta Cenador	0,41	0,39	Pilar	Existente	---				
	Cap-05		1	Planta Cenador	0,47	0,38	Pilar	Existente	---				
	Cap-06		1	Planta Cenador	0,35	0,41	Pilar	Existente	---				
	Cap-07		1	Planta Cenador	0,34	0,40	Pilar	Existente	---				
	Cap-08		1	Planta Cenador	0,34	0,40	Pilar	Existente	---				

Fig. 440. El listado interactivo *Esquema* de ArchiCAD confeccionado para la Ficha Inventario de los veinte capiteles del Cenador de Carlos V.

9.11.2. Listado de cantidades de material para proyectos de rehabilitación

Con el Esquema de ArchiCAD hemos configurado dos *Listas de Componentes* independientes para averiguar las cantidades de material afectados por la rehabilitación. Ambas *Listas de Componentes* emplean *Definiciones de Esquema* idénticas, con los parámetros imprescindibles para los elementos de construcción relevantes: *muro, pilar, viga, forjado, cubierta y estructura compleja*. Al final nos facilitará la categorización de los componentes intervenidos, sea la restauración para su reutilización o la demolición integra sin su inclusión posterior.

El procedimiento que hemos seguido se resume en los siguientes pasos:

1. Guardado de las dos Listas de Componentes como vistas.
2. En una vista, aplicamos el Filtro de Rehabilitación *Planta Existente*.
3. Empleamos el filtro *Después de la Demolición* en la otra vista.
4. Finalmente comparar las dos listas para determinar las diferencias en las cantidades de materiales.

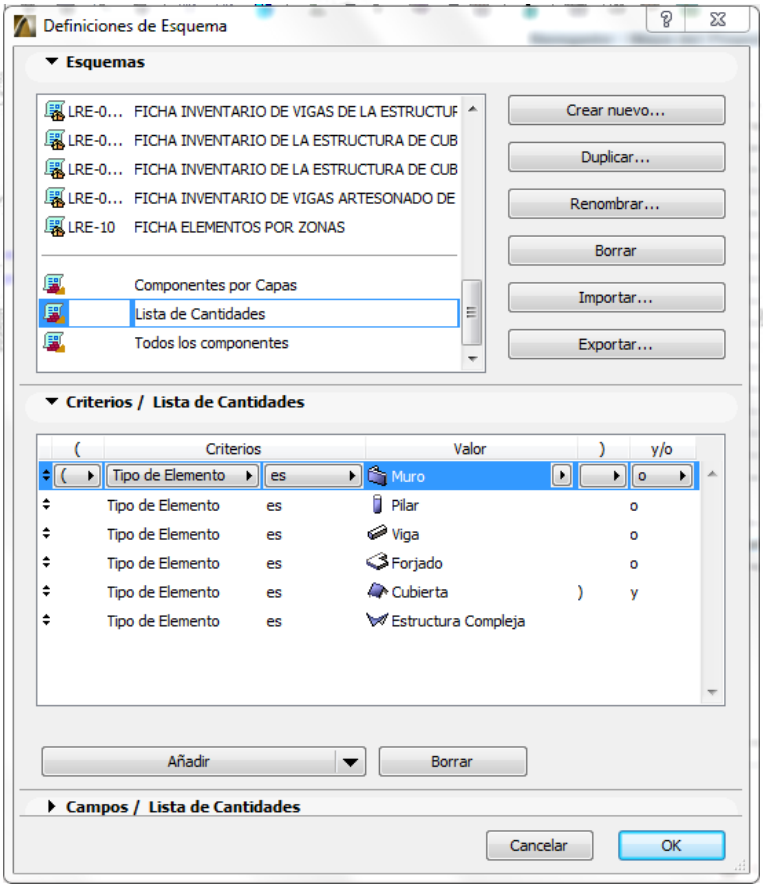


Fig. 441. Tipos de componentes que pueden ser registrados para confeccionar una lista de cantidades.

Para el caso de listar las cantidades de carpinterías (puertas y ventanas) y otros objetos paramétricos (escaleras, formas y mobiliarios) habría que configurar dos

Listas de Elementos[228] independientes con Definiciones de Esquema idénticas, con los parámetros necesarios para su comparativa. El procedimiento será el mismo que el empleado para los elementos de construcción, aplicando el filtro de cada fase de rehabilitación.

9.11.3. Listado de cantidades de materiales nuevos

Este flujo de trabajo actúa de manera muy parecida al detallado en el apartado anterior, con la excepción de que aquí es necesario utilizar distintos Filtros de Rehabilitación en las vistas para comparar las cantidades de materiales nuevos listadas. En el procedimiento se tomarán los siguientes pasos:

1. Crear una vista y aplicar el Filtro de Rehabilitación *Tras la Demolición*.

2. En otra vista, aplicar el filtro *Estado Planificado*.

3. Determinar las diferencias en las cantidades de materiales al comparar las dos listas anteriores.

Los listados de cantidades de los nuevos materiales no han sido generados para los modelos expuestos ya que dependerá de las conclusiones tras la investigación de cada especialista.

[228] Los objetos paramétricos, como son las puertas y las ventanas, no pueden ser listados como Listas de Componentes.

9.12. Listados para el estudio paramental

Al igual que el restaurador, el arqueólogo o especialista en esta fase deberá incorporar los datos extraídos del estudio paramental. Por lo que, una vez que teníamos identificadas las unidades estratigráficas de las prospecciones en la fachada Este de la antigua Cárcel elaboramos unas fichas específicas para los análisis paramentales.

Elegimos los criterios adecuados para filtrar la información del modelo: tipo de elemento (Forma), capa contenedora de los mismos (RFT-UE), y la identificación de las que serían unidades estratigráficas (UE) (Fig. 442).

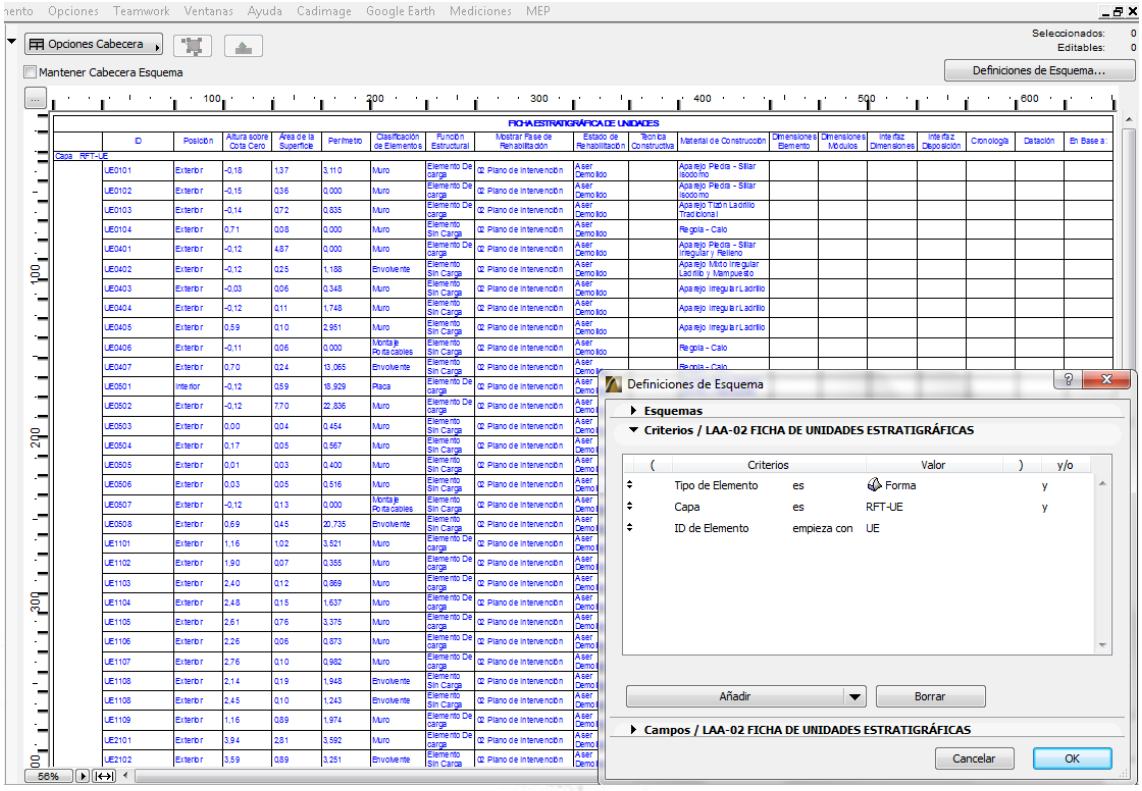


Fig. 442. Definiciones de los criterios para filtrar la información de la Ficha de Unidades Estratigráficas identificadas en la fachada Este de la antigua Cárcel de la RFT de Sevilla.

En los campos del Esquema se introdujeron los parámetros generales con muy poca variación respecto a las fichas de restauración: capa, ID, cantidad, posición, altura sobre cota cero, área de la superficie, perímetro, clasificación de elementos, función estructural, fase y estado de rehabilitación, material de construcción. Y para acomodarlo a las necesidades de la nueva disciplina se añadieron a la ficha de unidades estratigráficas los textos a medida: técnica constructiva, dimensiones del elemento, dimensiones del módulo, dimensiones de la interfaz, disposición de la interfaz, cronología, datación, en base a (Fig. 443).

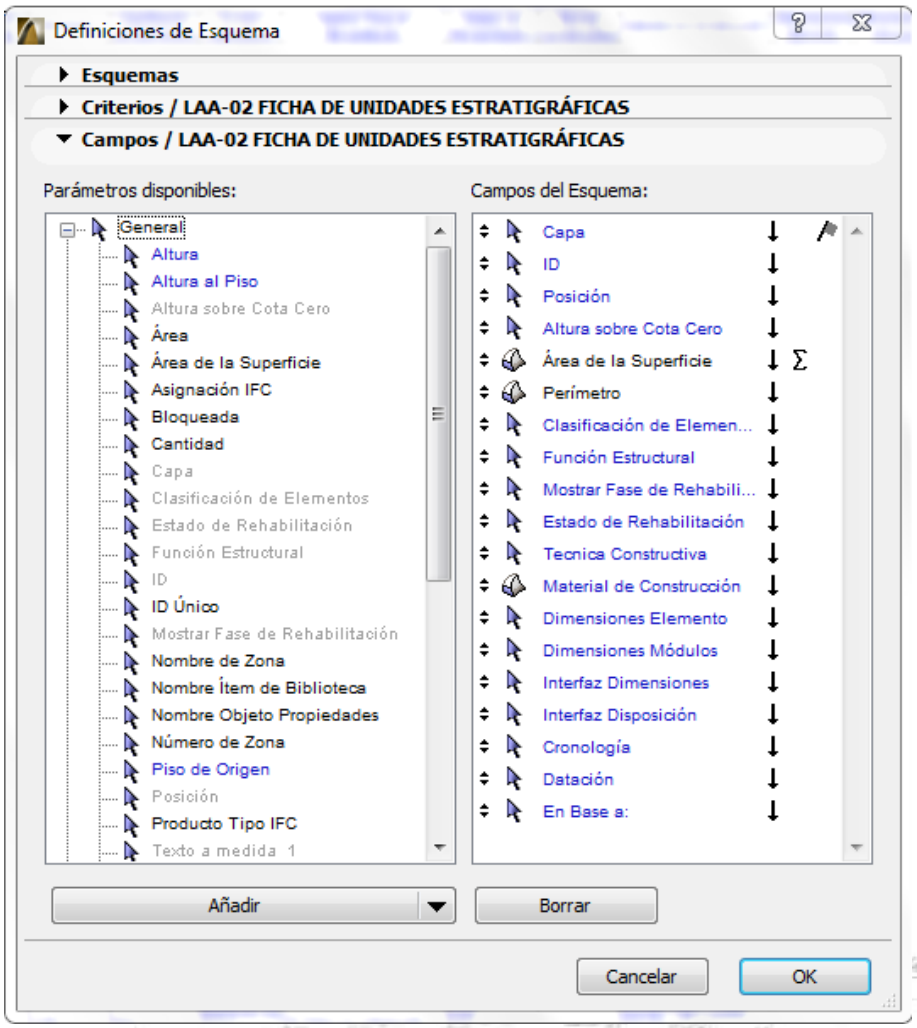


Fig. 443. Campos del Esquema que encabeza las columnas de la Ficha de Unidades Estratigráficas.

9.13. Generación de mediciones

Si para las nuevas edificaciones es imprescindible disponer de un extracto de mediciones relacionadas con unidades de obra para adquirir una valoración real de la construcción, también el proceso de modelado de un edificio existente debe de acrecentar la mera representación de elementos para que éstos se transformen en verdaderos sistemas constructivos. Las aplicaciones BIM nos facilitarán también la vinculación de los elementos representados del edificio histórico con partidas de la restauración.

Como hemos expuesto en los apartados anteriores, los listados y esquemas son fundamentales a la hora de adquirir mediciones de los elementos representados, pero además podemos asociarlos a unidades de obra provenientes de bancos de precios establecidos para una tipología edificatoria. El sistema BIM se apoya en bases de datos que se encuentran en las bibliotecas de elementos activas, de las que saca la información para generar cálculos. En el caso de ArchiCAD, las *Bases de Datos* están organizadas en capítulos, llamados *Claves,* compuestos de *Componentes* o partidas, sus *Descriptores* y las *Unidades* de medida utilizadas.

El trabajo de gestión de las bases de datos se puede hacer desde el mismo software al importar los bancos de precios oficiales del archivo FIEBDC (en formato estándar *bc3*), en un proceso de conversión de las unidades de obra en una biblioteca de objetos paramétricos propios, y proceder en una subsiguiente fase a la vinculación de los elemento del modelo a las partidas elegidas.

Desde nuestro proyecto HBIM, con el archivo abierto de ArchiCAD, se procedió a la importación del Banco de Precios oficial de Andalucía 2013[229]. En el cuadro de diálogo *Importar FIEEBDC* escribimos la ruta y el nombre del archivo a importar y el asistente inició la conversión en objetos de propiedades *gsm*. Al finalizar, los nuevos objetos creados funcionaban desde ese momento como elementos de biblioteca especiales de ArchiCAD, que al ser sólo de datos no disponían de un Script 3D.

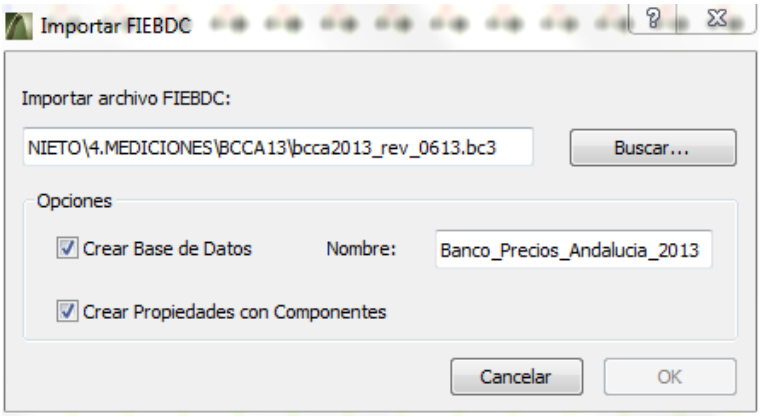


Fig. 444. En la conversión de la base de datos FIEBDC en formato de ArchiCAD cada nuevo componente se corresponderá con una partida de la base original.

[229] Para importar la Base de Datos en formato *bc3* se crea un nuevo menú específico de Cálculo donde se instala el API o accesorio extra *Extensión FIEEBDC*. Disponible para su descarga desde la web de Graphisoft: http://www.graphisoft.com/downloads/goodies/AC17/SPA.html

Con la opción activada de *Crear Propiedades con Componentes* generamos de forma automática un archivo de Propiedades para cada uno de los componentes de la Base de Datos. Éstos actuarán ahora como *Objetos de Propiedades* para describir estructuras específicas desde el punto de vista del cálculo, como las unidades de obra y la descripción constructiva de un elemento del modelo, usando para ello unos componentes y descriptores que definen las propiedades del objeto.

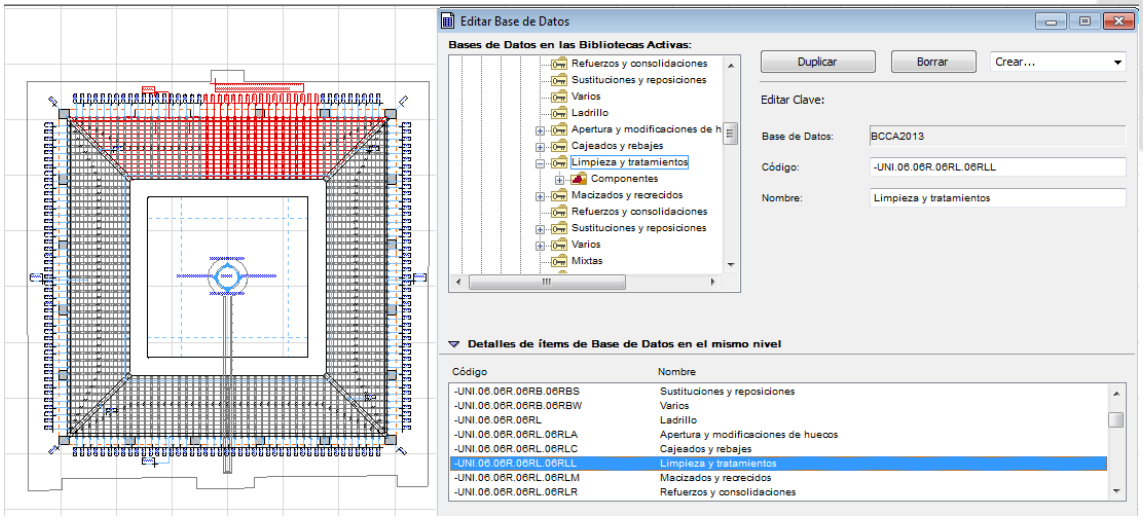


Fig. 445. Edición en ArchiCAD de la Base de Datos del banco de precios de Andalucía BCCA-2013.

9.13.1. Vinculación de los elementos a la Base de Datos

El proceso de vinculación de los componentes constructivos de la base de datos creada dentro del software BIM a los elementos del modelo se podrá realizar por asignación *Individual*, partida por partida, o con la opción de Vincular Propiedades *a Criterios*.

Otra opción es trabajar con aplicaciones externas especializadas en presupuestos para que la vinculación se haga directamente en la base de datos del software colaborador[230], que nos facilitará una transmisión de datos fluida e instantánea entre las dos aplicaciones. Aunque para utilizar las Bases de Datos de estas aplicaciones habrá que instalar el API correspondiente, y tengamos de este modo la opción de vinculación directamente en la aplicación BIM. En el modelo del Cenador de Carlos V se realizó una vinculación entre ArchiCAD y Cype para acceder directamente al programa de gestión Arquímedes y seleccionar en la Base de Datos activa del proyecto la partida concreta para relacionar los elementos.

[230] Todas las aplicaciones BIM tienen vinculación directa con los software de presupuestos más difundidos en España: Arktec Gest, Cype Arquímedes y Presto de Soft.

9.13.2. Vinculación de objetos por Criterios

Las partidas de la Base de Datos activa pueden asociarse con elementos del modelo por *criterios* predefinidos mediante un proceso de filtrado al utilizar una combinación de parámetros definidores (tipo, capa, altura, espesor, ID, etc.), con la que se vincula automáticamente la unidad de obra en cuestión con los elementos constructivos coincidentes con el Criterio dado[231]. Este fue el procedimiento elegido de manera general para la vinculación de objetos del modelo del Cenador de Carlos V al Banco de Precios.

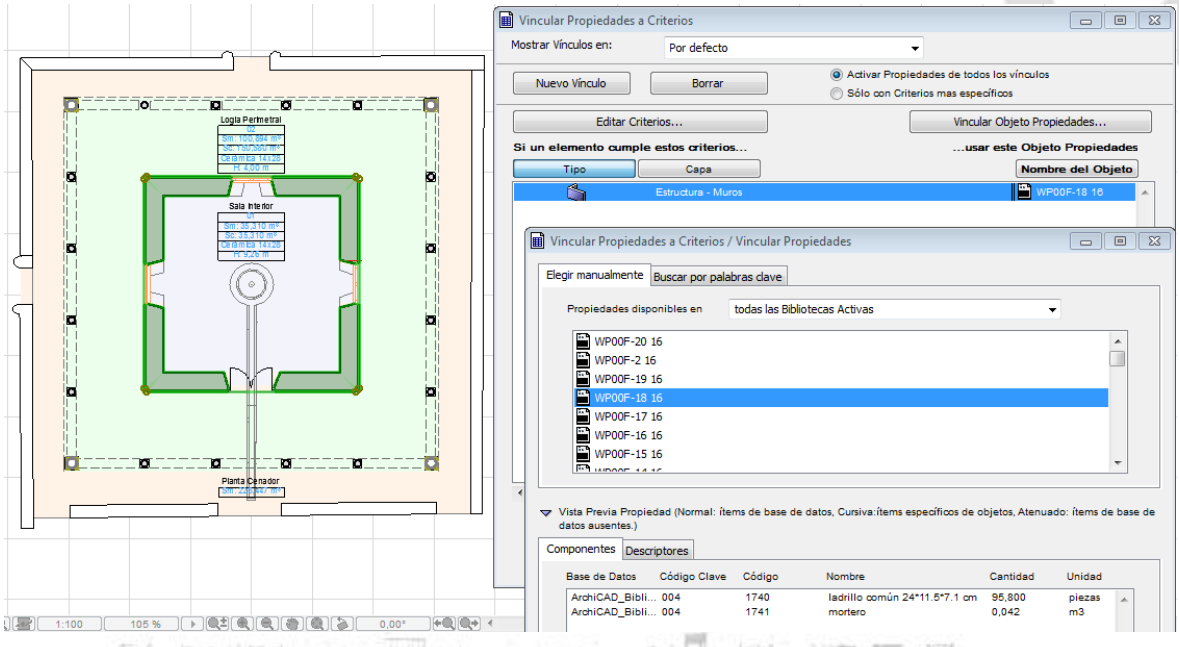


Fig. 446. Asignación de los muros del Cenador de Carlos V a una unidad de obra utilizando Vincular Propiedades a Criterios: Tipo *Muro*, Capa *Estructura-Muros*. ArchiCAD 16.

9.13.3. Asignación individual de propiedades

La otra opción de vinculación se realiza *Individualmente* desde la misma ventana de definición del elemento marcado, con una asignación de datos individualmente para cada elemento. En este caso, el vínculo se establece manualmente, elemento a elemento, en la ficha *Listar y Etiquetar* del diálogo de definición de la herramienta seleccionada (véanse los cuatro muros marcados de la imagen siguiente que cierran la sala central del Cenador de Carlos V).

[231] Las definiciones de Criterios se almacenan dentro de la biblioteca activa del modelo, de modo que pueden usarse en proyectos sucesivos.

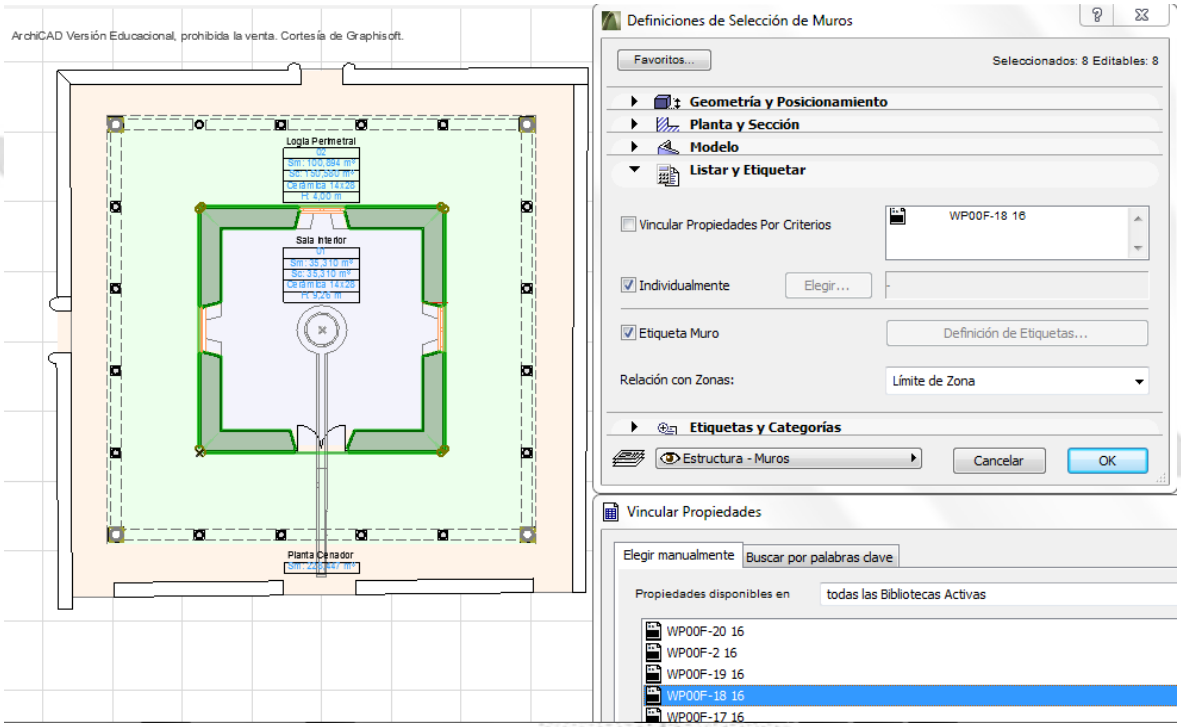


Fig. 447. Los muros marcados del Cenador de Carlos V son asignados individualmente a unidad de obra *Fábrica de ladrillo común* de la Base de Datos Biblioteca ArchiCAD.

Los componentes y los descriptores de los objetos de propiedades que residen en Bases de Datos pueden definirse también para los elementos de la Biblioteca (Ventana, Puerta, Objeto,...) de manera local, es decir, en el propio modelo.

Hay que añadir que aunque el software BIM preestablece en un principio una asignación de propiedades en función de la tipología del objeto, posibilita a los usuarios avanzados una definición personalizada de las mismas, para decidir si las propiedades serán asignadas a distintos elementos, si serán partes de distintas combinaciones de propiedades o si sólo las usará un Elemento de Biblioteca[232].

[232] El capítulo Definir Componentes y Descriptores de la Guía de Cálculo de ArchiCAD, hace una descripción más detallada de la definición de las propiedades de objetos y elementos de biblioteca.

9.14. Generación de la planimetría del proyecto HBIM

Se ha expuesto en estos dos últimos capítulos cómo la labor de modelado transporta de manera paralela otra tarea de organización sistemática de la información. La etapa de gestión no debe dejarse para una etapa "*a posteriori*", sino que debe servir para depurar un proceso de construcción del modelo, que habitualmente suele ser autónomo en su primera fase, falto de asesoramiento de los especialistas que posteriormente van a intervenir. La tarea de ordenar, clasificar e identificar adecuadamente los elementos intervinientes será continua y estará en constante renovación.

La sistemática de modelar con el sistema BIM, semejante a una tarea de construcción virtual, sustentada por las técnicas más avanzadas en la toma de las geometrías del edificio explorado, permite que obtengamos una planimetría fiable y de gran precisión para la representación del patrimonio histórico, sea arquitectónico o arqueológico, que según declara el profesor Barrera (2006: 267) "no se hubiesen podido obtener con la aplicación exclusiva de sólo una de las técnicas empleadas".

Los modelos BIM que hemos expuesto se han ido gestando de manera continuada a la vez que se introducían nuevos datos, reconstruyéndose automáticamente y constituyendo el núcleo de la información gráfica y alfanumérica sobre el que se apoyará una planimetría precisa y renovada. De este modo, procedimos a la elaboración de la documentación gráfica y listados de datos que como expresión de los aspectos analizados anteriormente sirviera de medio y soporte para una intervención en sus diversas etapas.

Finalmente, una vez finalizadas las labores de modelado en todos sus niveles, incluidos detalles aclaratorios de sistemas constructivos en zonas marcadas del modelo, adquirimos del mismo las proyecciones ortogonales (alzados, plantas y secciones), vistas axonométricas y perspectivas a la escala adecuada para conformar los planos del proyecto HBIM. Se generó unos listados adecuados para clasificar los datos por campos disciplinares y que le facilitase al especialista sus labores de auscultación e investigación. Esta documentación viene recogida en el anexo a la memoria del proyecto de tesis, como volumen II.

9.15. La exploración virtual del proyecto

Pero no nos debemos quedar en una exploración plasmada en documentos imprimidos en papel o en formato digital (dxf, pdf, jpg, tiff,...). Otra ventaja de conformar un modelo de información BIM es poderlo explorar virtualmente y en tiempo real, con acceso a toda la documentación: la expuesta y la contenida en sus bases de datos.

El proveedor de ArchiCAD nos proporciona un explorador que nos permite crear un modelo de evaluación interactivo a partir del proyecto BIM: el *BIMx* de Graphisoft. Diseñador, colaboradores, cliente o cualquier ciudadano interesado externo al equipo podrán explorar el modelo de profusas maneras:

- Visualizar y navegar desde mismo modelo 3D en un pc de sobremesa o portátil que disponga del software ArchiCAD.
- Guardar el modelo en formato Modelo BIMx (.bimx). Posteriormente podremos visualizar y navegar en él desde un ordenador, iPad u otros dispositivos móviles utilizando la aplicación de visualización de BIMx[233].
- O compartir el modelo BIMx desde bimx.graphisoft.com.

Según lo expuesto, el BIMx se muestra como un explorador del modelo muy flexible que no está pensado para mostrar más allá de lo visualizado en el interfaz. Pero no es así pues el cliente o cualquier usuario percibirán una presentación técnica del proyecto en 3D, además de beneficiase de una exploración en tiempo real del diseño arquitectónico sin necesidad de instalar un software específico de diseño para la arquitectura.

9.15.1. Gestión de Capas en el explorador BIMx

Un proyecto abierto en el explorador BIMx seguirá preservando las capas del modelo original de ArchiCAD, permitiendo al usuario controlar la visibilidad del modelo desde el menú *Capas* del BIMx activando o desactivando la casilla adjunta al nombre de la capa[234].

9.15.2. Adquirir información desde el BIMx

Los colaboradores y usuarios que no dispongan del software BIM podrán navegar virtualmente por el modelo desde el explorador BIMx y además acceder a toda la información asociada a cada elemento. Pulsando la tecla I durante la exploración, activará la herramienta *Info*. En este modo, el cursor cambia a la

[233] La aplicación gratuita es descargable desde http://bimx.graphisoft.com/

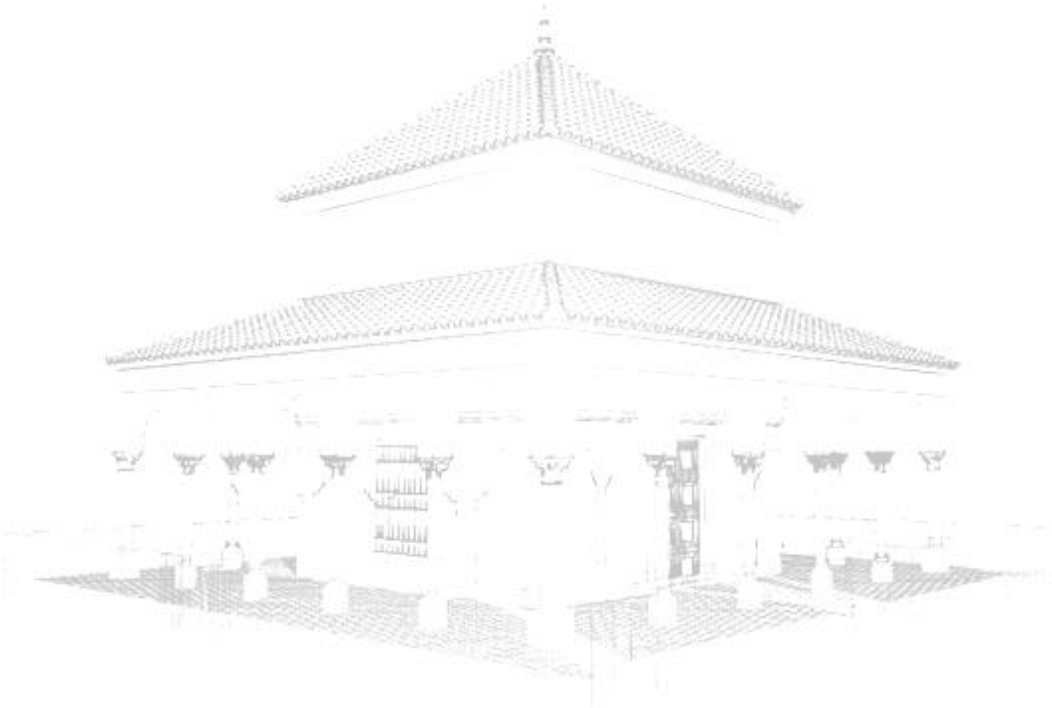
[234] La Iluminación global renderiza el estado actual del modelo. Al conmutar la visibilidad de las capas se ocultan y se muestran los elementos, de forma que es necesario volver a calcular la iluminación global para visualizar el modelo correctamente iluminado.

forma de una cruz y el elemento seleccionado se ilumina. Haciendo clic sobre el elemento el usurario abrirá la paleta de *Info*, la cual nos mostrará la información básica del elemento seleccionado[235]:

- *Tipo*, mostrando la tipología del elemento: Forjado, Forma, Muro, Pilar, Objeto, etc.
- *ID,* identificación que se le ha asociada a cada elemento del modelo.
- *Capa*, la capa donde se deposita el elemento de ArchiCAD.
- *Parámetros de elementos*, según proceda: altura, ancho, espesor, área, volumen, tipo de estructura compuesta, pendiente y parámetros personalizados para el campo patrimonial (tipología, época, grado de conservación, etc.). Estos valores se toman de los parámetros de elementos del modelo de ArchiCAD.
- *Etiquetas,* mostrando el texto asociado a la misma *(*siempre y cuando el elemento tenga valores rellenados para estas etiquetas): Posición, Función Estructural o ID.

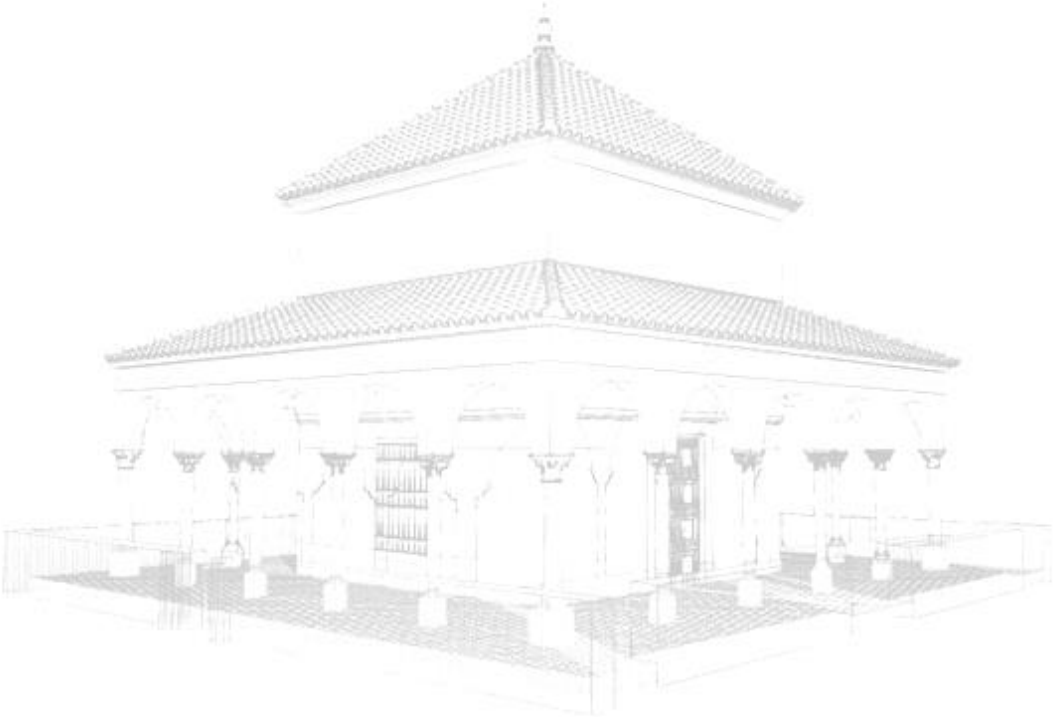
Acompañamos a la documentación impresa del proyecto de tesis un archivo ejecutable para que el modelo sea explorado desde el BIMx de Graphisoft.

[235] Los datos de la herramienta *Info* están disponibles si se explora un modelo BIMx guardado en ArchiCAD 16 o 17. (Los modelos BIMx provenientes de versiones anteriores solo muestran un conjunto limitado de estos datos).



Capítulo 10

PROPUESTA DE UN MODELO DE PROSPECCIÓN



10. PROPUESTA DE UN MODELO DE PROSPECCIÓN PARA EL PATRIMONIO HISTÓRICO

Una vez expuesto los resultados obtenidos de la implementación de los modelos de información aplicados a edificios históricos y la gestión de la información implícita, es momento de presentar un modelo integral de prospección eficaz en trabajos de intervención en el patrimonio arquitectónico y arqueológico, que hemos denominado "HBIM".

Comenzamos con el análisis de las aplicaciones y equipos más idóneos para trabajos de representación del patrimonio histórico, apostando por los últimos sistemas que ofrecen un alto grado de precisión, calidad y fácil aplicabilidad. Esta metodología nos llevó a fijar unos parámetros iniciales antes de proceder al levantamiento del modelo. La siguiente fase de implementación nos sirvió para ajustar el proceso de toma de datos a las particulares de cada edificio y flexibilizar las tareas de modelado. Toda la sistemática finalmente ha desembocado en la obtención de una documentación gráfica y bases de datos relacionales del edificio investigado, con una precisión y eficacia que supera con creces a los resultados cosechados con las tradicionales aplicaciones de CAD 2D.

10.1. Justificación técnica de la propuesta

Somos conscientes de que los avances en los sistemas de representación son constantes y que los últimos recursos disponibles hoy suelen estar expuestos a nuevas mejoras en un corto periodo de tiempo, fruto de una constante investigación e innovación de las empresas implicadas. Aunque esa búsqueda de mejoras en las aplicaciones y equipos es consecuencia de las propias necesidades de los usuarios y demás agentes involucrados. Qué mejor que una implementación de las últimas tecnologías en gestión de la información a casos de intervención en el patrimonio histórico para ir avanzando y obtener resultados cada vez más eficaces.

La propuesta que mostraremos, consecuencia de la investigación de más de tres años, que integra el levantamiento geométrico por diferentes técnicas de escaneado, la fotogrametría y el sistema BIM o modelado de información para la construcción, cubre con creces el objetivo marcado al inicio de "lograr una gestión eficiente de todos los datos generados en el modelo gráfico y de información", permitiendo un flujo retroactivo de los mismos por los agentes participantes en una intervención en el patrimonio arquitectónico.

En el capítulo *7. Fijación de los Parámetros para la Construcción del Modelo* se dictaron tres estrategias iniciales imprescindibles para la efectividad del proyecto de intervención patrimonial. En cuanto a las dos primeras, los trabajos de auscultación del edificio y la conformación de un equipo interdisciplinar y

operativo, son labores extrínsecas a los objetivos marcados al inicio de nuestra investigación. La Tesis se ha querido centrar primordialmente en el levantamiento del edificio histórico, haciendo uso de las tecnologías más precisas y eficientes en la gestión gráfica y de base de datos, para que sirviera de sustento a un proyecto de intervención en el patrimonio. Pero al añadirse el calificativo de "últimas" ha convertido a la temática en una investigación bastante sólida como para tratarse en profundidad y que al final ha desbordado las previsiones preliminares.

Aunque como expusimos en este mismo capítulo, la estructura del proyecto nos debe permitir una constante renovación del modelo sustentado en unas formulaciones iniciales. Lo habitual es que las primeras indagaciones por la auscultación del edificio, en base a catas circunstanciales, sufran desviaciones por posteriores prospecciones acometidas en paños completos. El proyecto HBIM debe estar conformado para recibir los datos acaecidos e investigados en cada fase y, de ese modo, transmitir la información de manera eficaz a cada especialista interviniente.

A continuación organizaremos la confección del proyecto HBIM por etapas graduales, asociando las tareas primordiales a cada una de ellas para que el avance se realice de forma sistematizada con el fin de que el modelo sea interoperable por todas las disciplinas.

10.2. Toma de datos y levantamiento del edificio

Después de analizar las aplicaciones y equipos adecuados, nos decantamos por utilizar un sistema medición indirecta de coordenadas o escaneado láser por "tiempo de vuelo" para el levantamiento del Cenador de Carlos V. La obtención de la denominada *nube* de millones *de puntos* del edificio escaneado en una corta sesión (apenas dos horas) se tradujo en un modelo preciso de coordenadas tridimensionales. La dificultad radicaría en como manipular tal volumen de información y su inserción el proyecto HBIM[236].

Pero esta decisión no nos debe alejar de las técnicas de fotogrametría, siendo la estereoscópica muy precisa y con resultados que no deben envidiar a los obtenidos por un escáner láser. El escollo está en que estos equipos, de coste más elevado, precisan una mayor formación del usuario para obtener buenos resultados ya que la producción de las fotografías métricas requiere una sistemática rigurosa que convierte la toma de datos "in situ" en un trabajo poco flexible.

En cambio, la fotogrametría monoscópica ha ido creciendo velozmente debido a ser un sistema mucho más versátil. Actualmente disponemos de un amplio abanico de aplicaciones que utilizan el método monoscópico, que nos permiten obtener modelos tridimensionales al procesar las imágenes capturadas desde cualquier cámara digital SLR (Single Lens Réflex). Aunque también son admitidas las cámaras compac o la óptica integrada de cualquier dispositivo móvil -

[236] Léase la Tesis Doctoral del profesor Barrera (2006: 230).

Smartphone, tablets, etc.- Finalmente, en el modelo de experimentación expuesto nos decantamos por utilizar varias aplicaciones que incorporan este sistema para la ortorestitución de las imágenes.

La fotogrametría también nos permitió la captura de geometrías de objetos arquitectónicos pequeños y que necesitaba una mayor precisión de sus formas, como complemento a los trabajos del escáner manual de Artec. El escaneando "óptico" de este equipo fue primordial para la adquisición de los motivos vegetales de capiteles y las tallas de carpinterías del Cenador, con resultados de muy alta precisión.

Después de todas las experiencias adquiridas, que hemos sintetizado en los párrafos anteriores, nos queda por último presentar una propuesta de actuación pensada para que la información métrica adquirida del edificio histórico nos pueda servir de base al proceso de construcción del modelo HBIM.

10.2.1. El proceso operacional

Antes de que el diseñador comience a la elaboración del modelo de un proyecto HBIM tendrá que disponer de las medidas del edificio, adquiridas en la fase de levantamiento mediante un escaneado láser o por técnicas de fotogrametría. Pero al día de hoy se hace muy laborioso y complejo ir introduciendo elementos constructivos paramétricos, adaptándolos a la vez a las coordenadas tridimensionales de puntos. Por ello, vamos a dictar unas pautas para su producción que nos flexibilizará las labores de construcción del modelo de información.

La metodología empleada para incorporar la nube de puntos en nuestro proyecto HBIM viene recogida en el capítulo 8 de Implementación del Modelo de Información. Lo que pretendemos en este apartado es sintetizar dicho proceso para ordenar los contenidos. Así pues dictaremos las siguientes recomendaciones:

- Emplearemos la tecnología láser para la obtención del modelo tridimensional de puntos, preferiblemente los equipos que incorporan una cámara fotográfica digital de 5 Megapíxeles mínimo, para proporcionarnos imágenes de alta calidad que nos servirá en la texturización de la nube de puntos. El levantamiento por escaneado láser debería complementarse con una toma de medidas precisas. Hoy en día disponemos en el mercado de equipos integrales de medición avanzada con alta precisión, agrupando estación total, escaner 3D, imágenes digitales y conectividad GNSS[237].

- Para el escaneado láser es conveniente procesar el barrido con el software propio: (inserción de la nube, filtrado de puntos y unión de escaneos). Ahora en esta etapa, que se nos ha presentado habitualmente como la más engorrosa, será más fácil el trabajo de manipulación de los datos con el

[237] Multiestación Leica Nova: http://www.leica-geosystems.es/es/Leica-Nova-MS50_103592.htm.

empleo de los últimos equipos, ya que ellos mismos nos procesarán la información para obtener el modelo tridimensional ensamblado[238].

- Una vez obtenido el modelo tridimensional sí se recomienda el empleo de un software específico (PolyWorks, Rapidform, Solidworks). No recomendamos el mallado de todo el modelo por sectores muy amplios, pues no diferenciaríamos elementos por categorías constructivas. De este modo se constituirían bloques completos en la maqueta (por ejemplo, una fachada con todos sus salientes e impostas agrupadas en una única malla), que serían contraproducentes para lograr el fin que buscamos: un modelo estructurado de información. En el caso de que localicemos paños que presenten irregularidades o abombamientos elevados sí sería recomendable que se mallara el sector de la nube de puntos y se insertará posteriormente en el modelo BIM como objeto[239].

- Insertaremos la nube de puntos en la aplicación BIM (ArchiCAD, Revit) para proceder a la captura de las coordenadas espaciales y adaptarlas a las geometrías de los elementos del modelo BIM: muro, forjado, pilar, viga y cubierta. Es fundamental la función del asistente (API) para la gestión de la nube de puntos y facilitarnos el trabajo de un modelado lo más fiel a las singularidades del edificio histórico. Reconocemos que estos API están algo limitados en comparación con los softwares especializados en la manipulación de nube de puntos, pero con su uso dentro del BIM reducimos el número de aplicaciones.

- En las tareas de modelado deberemos insertar los elementos constructivos paramétricos referenciarnos a los contornos de las secciones a la nube de puntos (en alzado y en planta) para ajustarnos a las geometrías reales del edificio por desplomes o asentamientos[240]. Por ello no debemos limitarnos a unos cortes básicos por los ejes de simetría del edificio, al arranque y coronación de muros o a los extremos de un forjado, sino crear rebanadas cada metro o a una distancia concluyente después de realizar una inspección previa, para que podamos ir comprobando también las irregularidades intermedias[241].

- En el caso que las deformaciones en paramentos sean trascendentales (como, por ejemplo, abombamientos o hundimientos puntuales), los elementos paramétricos introducidos con formas poliédricas o cilíndricas de sección constante se deberán de deformar. Son muchas las aplicaciones

[238] El sistema que incorporar el equipo Leica Nova combina el hardware y los propios datos. Las imágenes están sincronizadas con los escaneos y los escaneos vinculados con las mediciones de estación total.
[239] En el caso de ArchiCAD será en formato *.3ds* para insertarse en el modelo BIM y después transformarse en paramétrico (*.gsm*).
[240] Atenderemos a la recomendación del profesor Barrera (2006:249):"en la representación de superficies muy irregulares, …, bastará con obtener la mayor cantidad posible de puntos en 3D, pues si la densidad de puntos es suficiente, no tendremos necesidad de tener las líneas definidas expresamente, ya que el modelado lo realizaremos a partir de la nube de puntos".
[241] La ventaja de trabajar inserto en un modelo de puntos tridimensional es que no hace falta situar las secciones en sus posiciones relativas en el espacio.

CAD/BIM que disponen de herramientas de modelado precisas y que nos facilitarán esas labores[242].

- Aunque se haya barrido a una alta resolución, será necesario completar el trabajo con un escaneado cercano a objetos. Aquí apostamos por disponer de un escáner de mano (como el escáner 3D Artec) que nos facilitará las labores en zonas de reducidas dimensiones y de difícil acceso a las estaciones láser. El procesado de la información se realizará en el mismo lugar del escaneado, con el software del escáner instalado en un pc portátil. Hay que reconocer que aunque dispongamos de herramientas muy sofisticadas en los software actuales de modelado y animación[243] que nos permitirán el modelado de formas complejas (orgánicas o de elementos florales), para la adquisición de imperfecciones o deterioros en las piezas patrimoniales deberemos delegar el trabajo en una tecnología más automatizada y precisa, la cual nos proporcionará unos resultados finales que podremos certificar como clonación del objeto.

- En la última fase de depuración de detalles y como complemento al escáner la fotogrametría puede proporcionarnos de manera rápida, sencilla y muy barata los volúmenes precisos de adornos, piezas arquitectónicas o arqueológicas del edificio explorado para que queden bien modelados antes de ser catalogados. Podríamos citar los softwares Photomodeler®, Agisoft PhotoScan® y 123D® Catch de Autodesk, este último al alcance de cualquier usuario al instalar la aplicación en su iPad®, iPhone® o Smartphone[244].

10.3. El diseño del modelo arquitectónico

Indicaremos una sistemática de representación para el proyecto HBIM que nos facilite una identificación y clasificación de las piezas del edificio histórico válida para cada campo disciplinar: arqueológico, arquitectónico e histórico, y que sustentará una posterior restauración del patrimonio, a la vez vigorosa y sensitiva.

10.3.1. El primer modelo en fase de Estudios Previos

El primer modelo debe buscar una representación fiel del edificio antes de la rehabilitación. Se iniciará un modelado estructurado en base a los niveles de pisos existentes y los muros que cierran cada estancia medida, sin obviar huecos, salientes y detalles decorativos significantes.

Se realizará una zonificación por volúmenes y por cada estancia identificada (superficie y altura determinante). Aquí es importante identificar tanto los muros

[242] En el software ArchiCAD, los muros, vigas y pilares pueden adquirir desviaciones en su eje o adquirir una forma determinada con tal sólo asociales un perfil de extrusión. Para lograr formas irregulares o complejas circunstanciales disponemos de las herramientas *Forma* y *Cubierta Compleja* que pueden cumplir con los objetivos de una representación fiel.
[243] Citemos los más usuales en nuestro entorno: Cinema4D, Rino, 3DStudio, …, e incluso ArchiCAD al incorporar la nueva herramienta Forma.
[244] http://www.123dapp.com/howto/catch

estructurales o "Paramentos Guía" que ordenan las crujías y cerramientos de la planta, como también los forjados estructurales y faldones de cubiertas[245]. El uso de capas específicas nos clasificará las tipologías por agrupaciones constructivas lógicas. Pero además es indispensable que el ID de cada elemento incorpore una numeración correlativa en función de su ubicación. Finalmente el modelo nos permitirá identificar y relacionar las plantas con los alzados y las secciones.

El objetivo a lograr en esta primera fase de preparación del proyecto HBIM es la obtención de un modelo que represente la estructura general del edificio, en base a la identificación de los sistemas constructivos en los muros principales, a la tipología de los adosamientos y la ubicación de éstos en los paramentos.

Por ello, es importante establecer una estructura de tramas diferenciada en los muros que constituyan crujías y separe sectores, conocidos también como "divisiones edilicias generales", para que caracterice los materiales y las fábricas descubiertas hasta entonces en sus paramentos.

10.3.2. Definición de las estructuras del modelo arquitectónico

Con la información recabada, aunque sea muy somera por la escasez de las catas o prospecciones realizadas, o simplemente por estar fundada en tipologías de edificios similares o contemporáneos, los elementos divisorios edilicios deben contener una *estructura compuesta* de tramas. Con una visualización parcial de la estructura[246] podremos tener una vista estructural filtrada del modelo inicial, mostrando solamente los núcleos de los elementos, al ocultarse los revestimientos presentes en *muros, forjados y cubiertas*.

Este primer prototipo estructural nos sirve para sobrepasar una clara representación virtual y progresar en la importancia funcional del modelo, donde es muy importante el posicionamiento exacto de cada componente estructural y no estructural dentro del global. Ahora cada especialista podrá disponer de un modelo filtrado que respetará los retranqueos de pilares, vigas, aparejos de muros, estructuras de suelos y techos, referenciando sus caras fijas respeto al extradós de la envolvente del modelo arquitectónico. Es decir, las dimensiones de las estructuras estarán relacionadas directamente con los extremos del elemento filtrado y, por tanto, visualizado.

Igualmente se identifican los *adosamientos*. Para ello, nos auxiliemos de la simbología habitual incorporada en las plantas para la identificación de los sistemas de contactos murarios[247], aunque creemos que la variedad y flexibilidad en representación que nos ofrece las aplicaciones BIM debe complementar la anterior para ayudarnos a una mejor plasmación de la realidad. Que mejor que

[245] Tabales establece que las alineaciones principales serán las primeras unidades estratigráficas en el estudio posterior (2002: 81).
[246] Ver el asistente de visualización de ArchiCAD en 6.1.2.2. Visualización Parcial de Elementos Compuestos
[247] Tres símbolos básicos acompañados por una flecha para indicar el orden de construcción: adosamiento simple, encastrados y paramentos coetáneos (Tabales, 2002: 81).

la incorporación de ortoimágenes para la visualización virtual del encuentro del paramento, auxiliada de unas etiquetas identificativas y vinculadas a una base de datos relacional.

Es habitual, para el caso de muros pluriestratificados, que se localicen transposiciones sucesivas y con contactos desiguales en su encuentro con el muro adyacente. Por tanto, no debemos limitarnos a la representación de los adosamientos en una única sección de planta. El uso de una representación tridimensional del modelo nos facilitaría esta distinción, con la posibilidad de realizar diferentes secciones por niveles y obtener plantas determinantes que expresen la transición del adosamiento.

Una vez que se sepan los tipos de encuentros de paramentos se deberá plantear una correcta diferenciación gráfica si la datación los sitúa en épocas diferentes. Si las tramas vectoriales son idénticas por representar una misma tipología constructiva, hay que evitar forzosamente la unión de los elementos representados (muro, forjado, viga, pilar, cubierta) colocando una discontinuidad en sus encuentros[248].

Dispondremos al final de un modelo de información que nos aportará unos documentos gráficos con variantes de representación causadas por su función específica: identificación de espacios y unidades guías, contactos murarios y divisiones edilicias. Aquí se hace ineludible el uso del asistente *Definir Vista de Modelo* de ArchiCAD[249], por su gran flexibilidad, al permitirnos diferentes opciones de grafiado de las plantas. Nos será muy eficaz para gestionar la visualización de líneas y marcas en elementos constructivos, puertas y ventanas; y sobrescribir tramas de cote, tramas envolventes y tramas de zona, entre otras opciones (Fig. 448).

El modelo se podrá completar con la secuencia de su evolución temporal emanada de las primeras hipótesis. En el proyecto HBIM la correspondencia de cada trama característica con su periodo constructivo no solo se plasmará en la planta, sino se llevará a una base de datos relacional y servirá de sustento a la matriz de Harris interpretativa de cada sector.

[248] ArchiCAD dispone en el administrador de capas de una opción para evitar la unión de tramas entre elementos que dispongan del mismo motivo vectorial. La discontinuidad afectará exclusivamente a los elementos de la capa en la vista creada para tal efecto.
[249] Para más información de la Definición de Opciones de Visualización de Modelo de ArchiCAD: file:///C:/Program%20Files/Graphisoft/ArchiCAD%2017/Ayuda/Files/wwhelp/wwhimpl/js/html/wwhelp.htm#href=03_Virtual%20Building.06.400.html

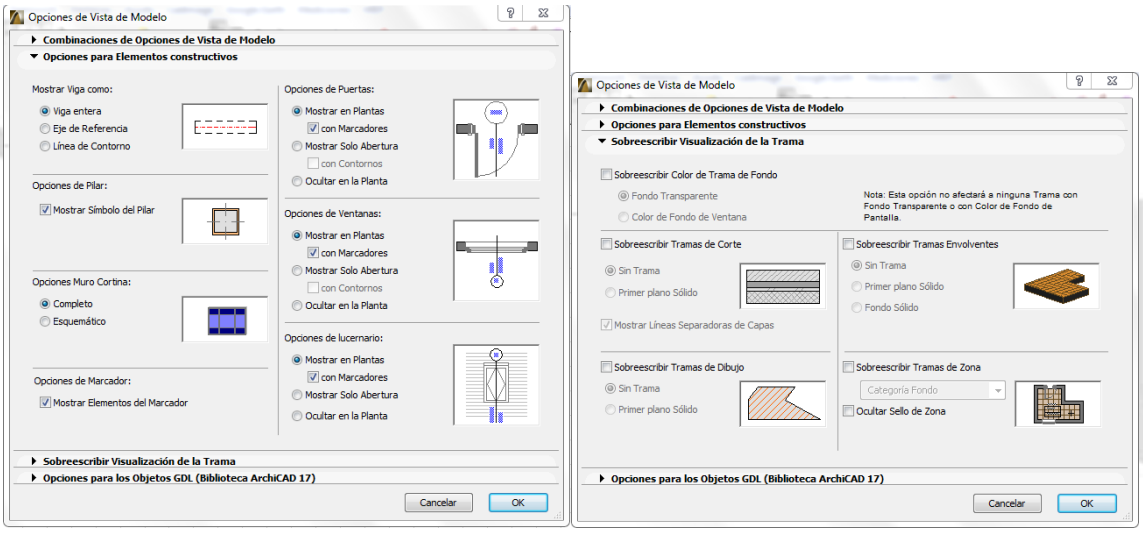


Fig. 448. Cuadros de configuración de las Opciones de Vista de Modelo de ArchiCAD.

10.3.3. La incorporación de piezas arquitectónicas y elementos singulares

Debemos de salvaguardar el patrimonio tal como nos ha llegado a nuestros días y no podemos obviar su estado real más cuando las técnicas más avanzadas permiten alcanzar una perfección en la adquisición de medidas hasta hace poco años inalcanzable. La solución estaría en crear una biblioteca de objetos modelados con la geometría y textura "virgen", evitando los mapeados preestablecidos, que constituyera una base documental disponible para futuras investigaciones o intervenciones en el mismo patrimonio arquitectónico.

10.4. Preparación del modelo para el Estudio paramental

En la fase de intervención arqueológica, el proyecto HBIM deberá estar bien estructurado para que el arquitecto director pueda transferir información gráfica al arqueólogo. Antes de acometer los estudios paramentales es necesario que se haya cubierto la fase de catalogación. Los ficheros de Muestreos Edilicios y los Tipológicos vienen a determinar por un lado los diferentes aparejos localizados y sus relaciones con los adyacentes, y por otro, sus propiedades métricas y cronologías paralelas en edificios de características similares. Habrá, por tanto, que asociar los datos de registros a los paramentos del proyecto HBIM, así como incorporarles las fotografías efectuadas. Los datos no gráficos quedarán relacionados con *esquemas y listados* específicos.

Hay que hacer factible un análisis estratigráfico evolutivo y estructural de los paramentos[250], pero condicionado a un único modelo de información interoperable e interdisciplinar. Por ello, dictaremos unas estrategias primordiales que vienen simplemente a facilitar la ordenación de los datos y la gestión de los mismos.

[250] Nos referimos al sistema empleado por Tabales para el análisis paramental (2002:89).

El especialista debe realizar los estudios paramentales de muros, forjados, pavimentos, techos y cubiertas descubiertas, por lo que hay que tener previamente todas las imágenes de las prospecciones efectuadas en el edificio convertidas en ortofotos antes de incorporarlas al modelo BIM. El proceso de restitución métrica de las imágenes deberá de realizarse con aplicaciones específicas que nos asegure una exactitud de las medidas tomadas in situ, sin olvidarnos de la importancia de disponer de puntos referenciados en el edificio que nos sirvan como coordenadas precisas para la transformación fotogramétrica.

Una vez medidas las catas y los paños picados, se procederá a incorporar en el elemento del modelo (sea muro, forjado o cubierta) el sector descubierto, y aplicarle posteriormente la ortofoto como textura. Para evitar partir elementos que se introdujeron en el modelo al inicio cubriendo varias crujías o plantas, ya que la imagen a introducir cubre solo un sector del mismo, es más eficaz adosarle una lámina a modo de revestimiento (pensemos en las catas abiertas en el muro de la fachada este de la Cárcel de la RFT) y que contenga en la cara expuesta la ortofoto como textura del material; así facilitaríamos controlar los elementos del modelo que ya estaban identificados al inicio con un ID.

El uso de la herramienta Forma de ArchiCAD es muy apropiado en este caso, pues nos permite ir creando subelementos (UE) dentro de otro elemento (paño o cata) con un procedimiento fácil y mecanizado, conteniendo cada uno una fracción de la textura global según su posición en el grupo y sin que se varíen las referencias espaciales iniciales. Ya que al día de hoy no podemos sectorizar los muros de ArchiCAD para incorporarles texturas parciales, a no ser que se dividan en toda su altura, tenemos la otra opción de convertir el elemento (Muro, Forjado y Cubierta) en una Forma. De este modo sí podemos crear sectores o subelemento en el elemento primitivo, identificarla como UE y asociarle la ortofoto[251].

10.5. El análisis evolutivo de los paramentos

Para una comprensión evolutiva del edificio el especialista debe realizar un estudio minucioso de los paramentos, principalmente muros estructurales o con evidencias de ampliaciones. Certificamos el sistema de representación e identificación propuesto por Tabales (2002:89) sobre el cual se apoyará el análisis paramental, aunque somos conscientes que muchas de las estrategias de representación, al ser derivadas de las aplicaciones tradicionales de CAD en 2D, deben ser adaptadas a las nuevas potencialidades de los softwares actuales que gestionan información gráfica tridimensional relacionada a base de datos.

Lo que principalmente buscamos con este proyecto de investigación es que dicha sistemática específica de la arqueología se haga partícipe de las demás disciplinas, más que por aunar criterios de grafismo y simbología, por contrastar

[251] El inconveniente coligado es que se pierden las prioridades de unión que disponían los muros dentro del modelo inicial, lo cual nos llevaría a una posterior tarea de depuración de intersecciones del nuevo elemento *Forma* con los demás muros a los que se adosan.

los diferentes enfoques disciplinarios en base a un mismo hallazgo. Esto desembocaría en una única conclusión sistematizada y consensuada por todos, evitando las frecuentes contradicciones y falta de correspondencias de las soluciones formuladas. Todo quedaría plasmado en un mismo modelo de información flexible que permite una constante mutación y adaptabilidad a los nuevos acontecimientos de la intervención patrimonial.

El procedimiento expuesto para delimitar las unidades estratigráficas[252], que nos ha permitido analizar directamente sobre la imagen proyectada en la superficie del elemento (*muro, forjado,…,* o un sector de *forma*) dentro del modelo, nos permite controlar las unidades, analizarlas e identificarlas antes de establecer sus relaciones por el sistema de Harris.

10.6. Definición de los sistemas constructivos

En cuanto a los estudios estructurales o también llamados *critico-descriptivos,* diremos que son imprescindibles en el análisis de cualquier edificio histórico, alcanzando diferentes enfoques disciplinarios. La definición de los sistemas estructurales/constructivos es fundamental antes de cualquier restauración arquitectónica y como sustento a un análisis patológico de los materiales. Y son determinantes en la faceta arqueológica, pues con ellos se establecen las relaciones estructurales constructivas entre unidades y las tipologías constructivas[253], ambas necesarias para completar el análisis evolutivo de los paramentos.

10.7. El Inventario de Materiales

El Catálogo de Materiales del proyecto HBIM debe ser una base en constante ampliación, que contenga las tipologías constructivas más habituales en el patrimonio intervenido y las peculiaridades edificatorias de la zona o época histórica. El tipo de material, el formato de la pieza, la composición de la fábrica,…, además de las propiedades físicas de los materiales, deben de ser recogidos en una base de datos relacional e interoperable a la que acceda el arquitecto, arqueólogo, historiador, arquitecto técnico/aparejador, ingeniero y restaurador[254].

Por tanto, al igual que se ha aplicado para identificar la materialidad de las unidades estratigráficas, las piezas insertas en los revestimientos de muros y pavimentos deben estar asociadas a un material de construcción. El avance que hoy nos aporta la aplicabilidad del BIM es que, además de una trama vectorial para definir la estructura del elemento y una ortofoto para texturizar las superficies expuestas (habitual en el grafismo del CAD), el modelo dispondrá de unos datos intrínsecos al elemento: conductividad térmica, densidad y capacidad calorífica.

[252] 9.1.3. Identificación de unidades estratigráficas en el análisis arqueológico.
[253] Como Estructurales: adosamientos, erosiones, grietas, rupturas,…; Y Tipológicos: Tipos de aparejo, vanos, enlucidos y añadidos (Tabales, 2002:89).
[254] 9.1.3.1. Asociación del sistema constructivo a las unidades estratigráficas

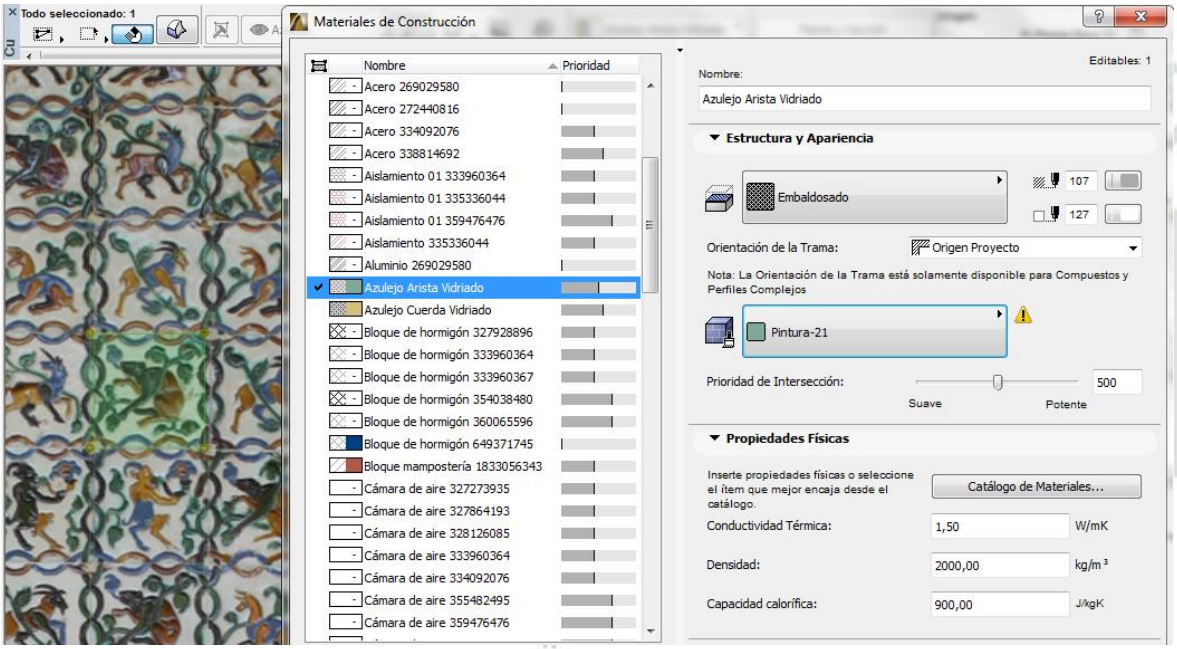


Fig. 449. Edición del Material de Construcción de un azulejo vidriado de *Arista* del paño norte del Cenador.

10.8. Marcación de patologías y elementos anómalos

En un proyecto de restauración es importante enfatizar las anomalías y deterioros detectadas, sean las más visibles por su posición externa en el edificio histórico, como aquellas que son intrínsecas de muros, forjados u otros elementos constructivos, pero igual de necesarias, para realizar un estudio patológico y determinar las posibles propuestas de saneamiento de las piezas afectadas o la sustitución por otras nuevas.

Hemos expuesto en el capítulo anterior de Gestión de la Información[255] la identificación de elementos con deformaciones o patologías empleando la herramienta *Marcador*. En la planimétrica de los modelos estudiados, que adjuntamos como documentación anexa a la Tesis, quedan destacadas éstas en cada vista mediante un contorneado o empleando una trama con un color característico para una fácil localización. Si optamos por una exploración virtual del modelo, la marcación estará también reflejada en los elementos anómalos.

Lo que si habría que expresar aquí es que esta marcación debe ser una labor continua, paralela a los trabajos de exploración del edificio. A medida que se vayan incrementando las prospecciones en suelos, desnudando de revocos los muros y desmontando los techos se podrán confirmar las hipótesis iniciales, desecharlas o iniciar nuevas al extenderse las zonas patológicas. Debemos de apostar por una documentación gráfica rica en detalles, con anotaciones vinculadas a base de datos relacionales, pero que esté siempre en constante renovación para que sirva de sustento al especialista/investigador.

[255] 9.1.6. Identificación de patologías y singularidades en la rehabilitación.

10.9. La restauración de revestimientos

Creemos que si el proyecto HBIM está bien estructurado para transferir información al especialista en los estudios paramentales, sustentará eficazmente las labores de restauración. Una vez cubierta la etapa de Muestreos Edilicios y establecidas las Tipologías de aparejos y sistemas estructurales se podrá definir el proyecto de intervención para rehabilitar el edificio histórico. Aunque será necesario acomodar el modelo a la figura de un restaurador, sobre todo en la clasificación de las diferentes familias de revestimientos en muros, pavimentos y techos: alicatados, embaldosados, mosaicos, estucados, pinturas al fresco, yeserías, artesonados y otras piezas arquitectónicas y decorativas.

Las estrategias tomadas para este campo disciplinar se sustentan también en una ordenación de la información tomada del edificio: datos dimensionales y fotografías reales del sector inspeccionado. En esta fase el restaurador inspeccionará las superficies visibles de los muros, suelos y cubiertas, que en el modelo BIM se encontrarán mapeadas por las imágenes restituidas. Pero es primordial una categorización inicial por tipologías de piezas antes del análisis paramental, con la posibilidad de que el nivel de segregación aumente a medida que avance la exploración y surjan nuevos criterios que hagan más efectiva la restauración.

La vista de la Fig. 450 muestra el alzado norte vectorizado de la planimetría del Alcázar de Sevilla (levantamiento de la Escuela de Estudios Árabes del CSIC), a la cual hemos superpuesto la vista del modelo BIM con los paños alicatados (aplicando la opción de Trazar *transparencia de tramas*) y que incorporan las etiquetas identificativas de los paños alicatados y la de sus azulejos.

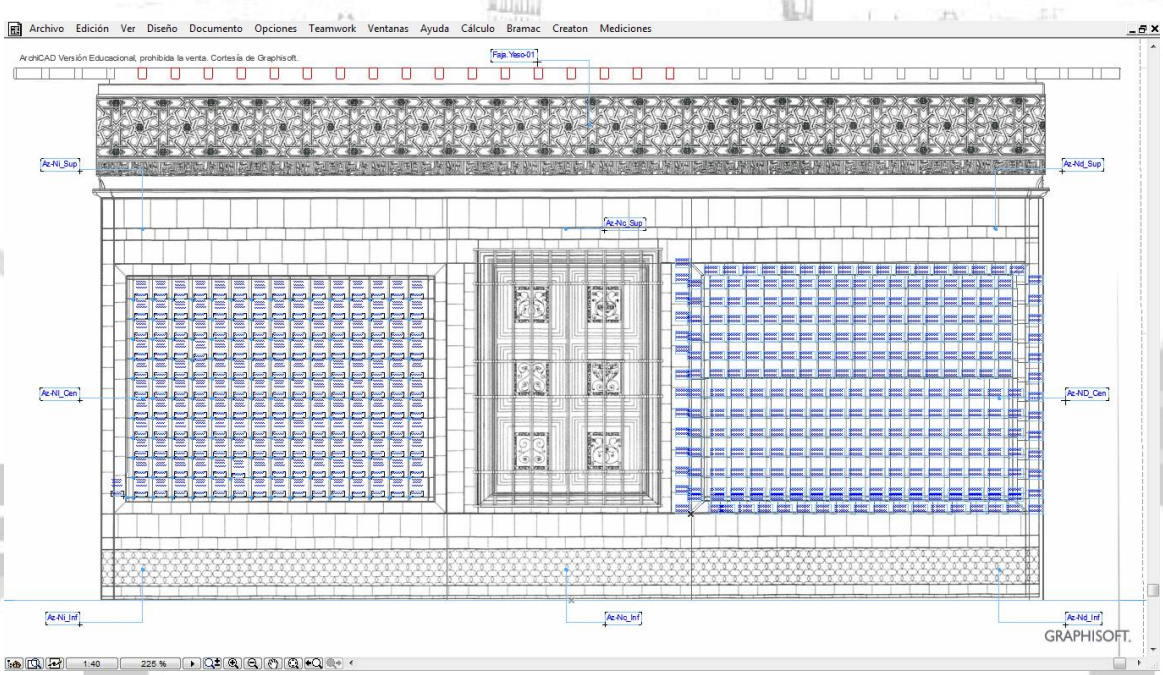


Fig. 450. Vista del Alzado Norte del Cenador de Carlos V, con la identificación de paños de alicatados y con las etiquetas de las piezas. Se ha superpuesto sobre el alzado de la Planimetría del Alcázar de Sevilla (EEA del CSIC)

Podemos comprobar que con el sistema BIM superamos ampliamente la representación gráfica que hemos empleado habitualmente con el uso de las herramientas 2D del CAD tradicional, al incorporar y visualizar datos emanados de la auscultación. El desglose y clasificación de las piezas se vincularán a bases de datos pero también estarán expuestas en la planimetría del proyecto HBIM (Fig. 451).

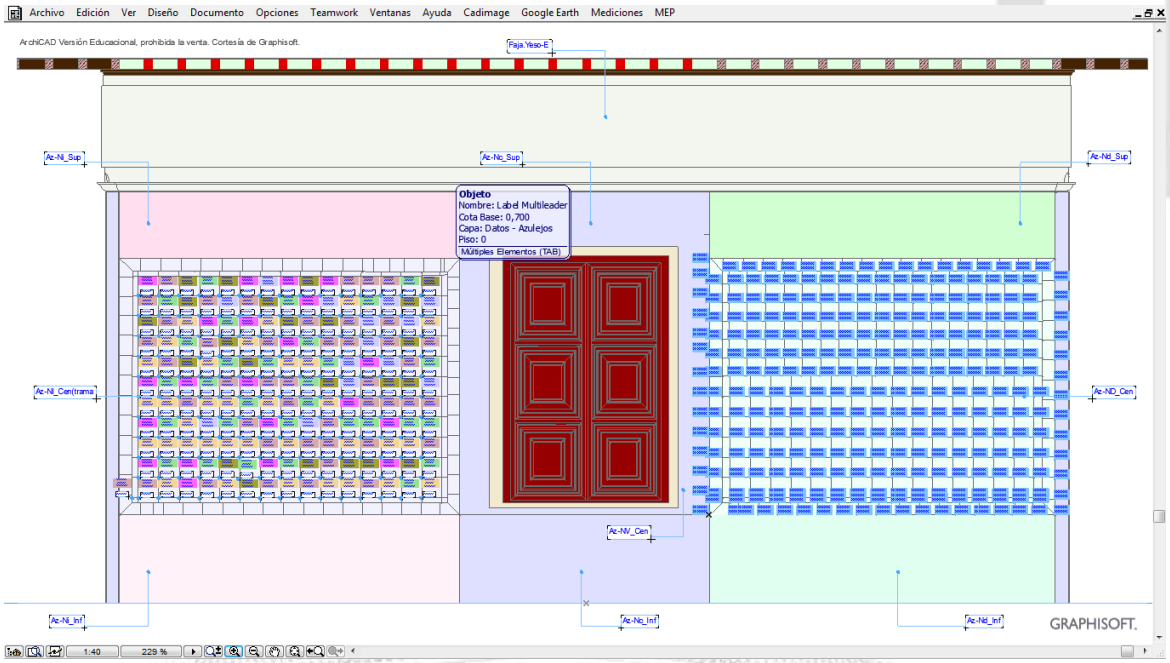


Fig. 451. Alzado Norte del Cenador de Carlos V obtenido del modelo BIM con las etiquetas de las piezas.

Pero el restaurador también podrá explorar el modelo, crear secciones en 3D para la visualización de los paramentos o lienzos a investigar. En la perspectiva de la Fig. 452 se muestra el pavimento con las baldosas contorneadas facilitando al especialista la selección una a una.

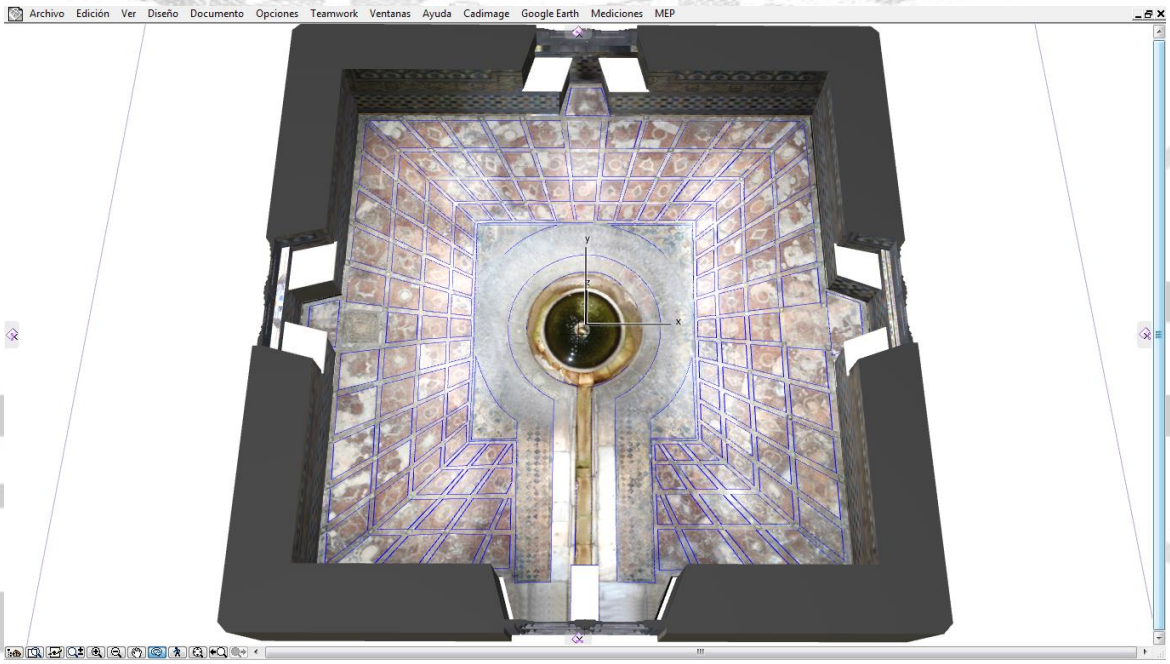


Fig. 452. Perspectiva cónica seccionada mostrando el pavimento contorneado del cenador de Carlos V.

10.10. Gestión de mediciones y vinculación a una Base de Sistemas Constructivos

Si hemos seguido un proceso sistemático y ordenado dentro del proyecto HBIM para la identificación y clasificación de los elementos del modelo, la fase de gestión de las mediciones se nos hará muy fácil. La obtención de resultados puede ser instantánea desde la misma aplicación BIM, con listados de elementos clasificados por tipología constructiva, espesores, alturas, ubicación en pisos,.., y que mostrarán propiedades geométricas, sea por unidades, superficiales o volumétricas; o mediante la interconexión con programas específicos de mediciones y presupuestos para exportar las unidades generadas del modelo.

Dejando de un lado las variadas formas de extraer mediciones de elementos participativos en el modelo de información, la propia medición automática de capítulos como albañilería, revestimiento y carpinterías supone un paliativo al desprendernos de un trabajo manual laborioso e impreciso. En el caso de realizar la medición de los revestimientos de muros, ArchiCAD diferencia la superficie A (extradós) de la superficie B (cara del intradós), con la deducción automática de huecos o carpinterías al estar asociadas a los propios muros.

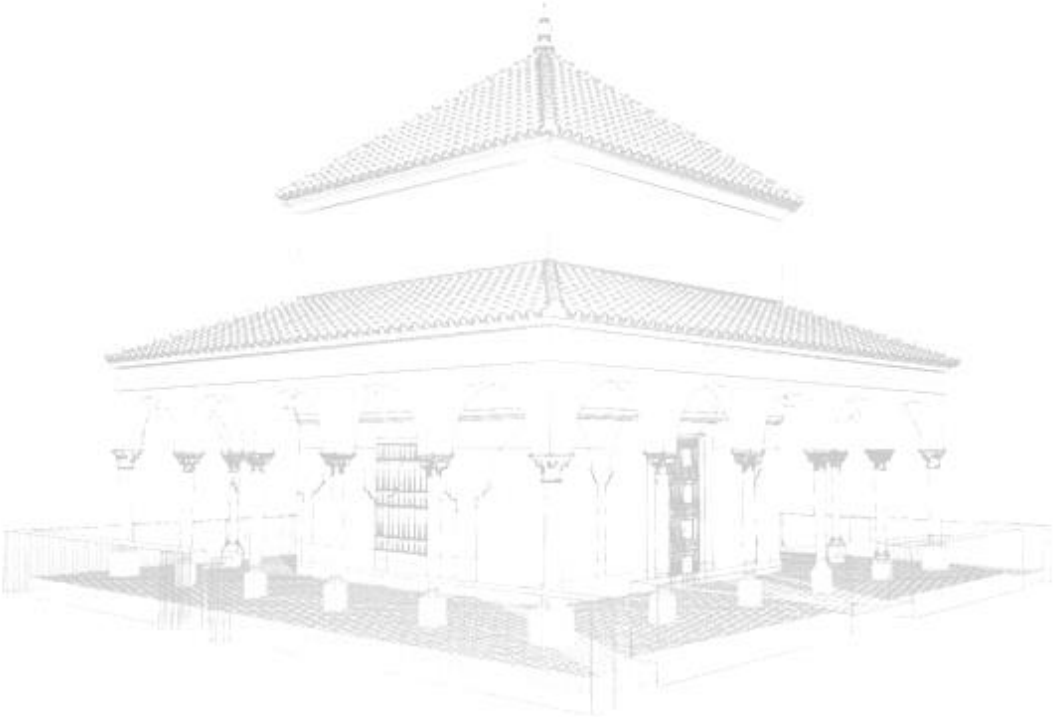
Pero la conformación de un presupuesto requiere además la vinculación de los elementos del modelo a bases de datos o sistemas constructivos con unidades valoradas. Para el caso de la aplicación ArchiCAD, se puede optar por el proceso de transformación de las partidas incluidas en la base de precios (en *.bc3*) a objetos paramétricos (tipo *.gsm*) y trabajar dentro del mismo proyecto HBIM. La otra opción es vincular cada elemento (individualmente o por criterios) a un software de mediciones y presupuesto de los utilizados habitualmente en el mercado español[256], y de este modo operar las dos aplicaciones de forma conjunta e instantánea.

Como conclusión, la aplicación BIM nos proporciona un aumento de productividad considerable al facilitarnos unos listados de mediciones que se actualizan a la vez que realizamos cambios o ajustes en nuestra maqueta virtual, y con el plus añadido de que se podrán vincular a partidas actuales u otras nuevas que se incorporen a nuestro proyecto de intervención patrimonial de forma automática utilizando las aplicaciones habituales para mediciones y presupuestos.

[256] Las aplicaciones Presto de Soft y Arquímedes de Cype están operativas para trabajar con los software BIM de Archicad, Allplan y Revit. Una vez realizada la conexión entre ambas se procederá a la vinculación de elementos con partidas.

Capítulo 11

CONCLUSIONES



11.CONCLUSIONES

11.1. Coyuntura actual de la cuestión en el patrimonio arquitectónico

Son cada vez más los grupos multidisciplinares que se encuentran envueltos en una búsqueda prolongada de nuevos Sistemas para la mejor gestión de la información que emana del Patrimonio heredado. En esta coyuntura actual, derivada de un largo camino iniciado décadas atrás, nuestro trabajo viene a contribuir con nuevos estudios para ir perfilando una metodología más eficaz con miras a una intervención en el patrimonio arquitectónico.

Teniendo presente que la fiabilidad del Sistema era uno de los objetivos de esta tesis, hemos apostado desde el principio por la tecnología BIM, ya que nos permite establecer un modelo gráfico y de datos, flexible y constantemente actualizado, que nos proporciona planimetría y listados de los últimos hechos consumados.

El Modelo de Información para la Construcción se ha convertido actualmente en un sistema colaborativo que beneficia enormemente a las industrias involucradas en el sector AEC, fundamentos que han hecho más factible su aplicabilidad al trabajo multidisciplinar del patrimonio construido. El modelo BIM es operativo al facilitar el flujo de trabajo interdisciplinar y, además, sirve de sustento de todos los testimonios y demás informaciones que han sido recopiladas tras un período de investigación y posterior análisis.

11.2. Consecución de los objetivos planteados

Por los resultados obtenidos podemos expresar que hemos cubierto muchas de las necesidades de los principales agentes intervinientes en el patrimonio histórico: arqueólogos, arquitectos, restauradores e ingenieros especialistas en el sector de la edificación.

En el desarrollo de los capítulos exhibidos en la tesis, hemos podido corroborar la eficacia de las hipótesis de partida para alcanzar los objetivos específicos marcados al inicio:

- Hemos establecido una estructura operativa acorde con los modelos de experimentación elegidos, con valores patrimoniales válidos en sus facetas arquitectónica y arqueológica, definiendo las fases de actuación de cada especialista dentro del proyecto HBIM para que la información fluya eficazmente y de manera recíproca.

- Se ha propuesto varias metodologías para el levantamiento geométrico, condicionado fundamentalmente por el tipo de tecnología elegido. Se han implementado en el modelo BIM con unos resultados expuestos bien válidos, sustentados siempre en la geometría real. Todo ello ha derivado en la

generación de una documentación gráfica precisa y en base a un modelo dinámico que permite reflejar los cambios de manera automática e inmediata.

- El proyecto HBIM nos ha proporcionado una plataforma técnica y flexible de datos gráficos y alfanuméricos, la cual es válida para adaptarse a los continuados cambios en una intervención en el patrimonio construido, derivados de las investigaciones procedentes de las distintas disciplinas.

- Otro gran aporte del proyecto HBIM ha sido facilitar durante todo el proceso una gestión interdisciplinar útil y especifica de todos los datos generados en el modelo gráfico y de información.

11.3. Conclusiones de los estudios realizados

En los capítulo de Implementación y Gestión de la información se han expuestos los estudios realizados sobre modelos BIM aplicados a una intervención en el patrimonio arquitectónico. Pero como se ha podido evidenciar, la elección de unos pocos modelos de experimentación ha venido motivada por exprimir al máximo las potencialidades del Sistema de información BIM, dentro de un tiempo prudencial, para el desarrollo de la tesis en base a la metodología propuesta. La elección también ha estado condicionada por buscar edificios con dimensiones apropiadas para que el mismo fuese estudiado casi en su integridad, aunque este hecho no ha supuesto una merma de valores históricos y arquitectónicos.

Los nuevos *modelos de información* generados por los programas BIM suponen un cambio radical en la forma de afrontar el diseño arquitectónico al dejar apartados los habituales trabajos "cerrados" e individuales, y apostar por un nuevo sistema abierto de comunicación, que incluirá a todos los usuarios y colaboradores en cada parte del proceso de diseño, utilizando las ventajas de los modeladores que emplean elementos constructivos paramétricos y la interoperabilidad con otras aplicaciones específicas.

Podemos concluir que los modelos BIM que al final hemos obtenidos sobrepasan el concepto de "virtual" para calificarse de "científico", al sustentarse en un sistema de información preciso, constatable e interoperable que queda lejos de los habituales modelos promocionales del patrimonio arquitectónico.

11.3.1. Respecto al levantamiento arquitectónico

Hemos empleado desde el inicio los mejores métodos para un levantamiento gráfico sostenible desde la vertiente técnica y científica, que nos han facilitado un análisis más efectivo para conducirnos a una trasferencia irrefutable del patrimonio real.

Para las tareas de modelado del edificio se ha partido inicialmente de una planimetría ortogonal, derivada de un levantamiento fotogramétrico, que nos ha servido como un proceso eficaz de análisis constructivo. Aunque nuestro objetivo

ha residido en el uso nuevas técnicas de medición con la intención de obtener aspectos geométrico-dimensionales de la arquitectura del edifico histórico de manera más precisa.

Sabíamos que la conversión de toda la geometría captada por el escáner en malla triangulada no se admitía como una solución eficiente, pues sólo conseguiríamos una envolvente del edificio a modo de cascarón, sin información interior. Por tanto, la salida señalaba a una gestión directa de la nube de puntos en la aplicación BIM y evitar así el uso de softwares específicos para el mallado.

La sistemática aplicada ha dependido del modo en que se ha gestionado la información suministrada por el escáner láser. Una de las primeras ventajas es que se ha sacado documentación gráfica directamente desde la nube de puntos ensamblada, sin ser necesario trabajos de vectorización, proporcionándonos planimetría muy válida para tenerla como vistas de referencia en el trabajo de modelado.

Pero nuestras miras iban dirigidas a un trabajo de modelado directo que tuviera como referencia los puntos espaciales y podernos adaptar a las geometrías reales del edificio. La implementación de esta técnica en el sistema BIM se ha visto muy condicionada por el tipo de software empleado. Aunque las aplicaciones utilizadas, ArchiCAD y Revit, se sustentan en la tecnología BIM, hay que reconocer que la primera no dispone todavía de un asistente eficaz para manipular la nube de puntos y crear referencias[257]. Y es lógico, pues los elementos que aquí se emplean tienen entidad geométrica para incorporarles otro tipo de parámetros: propiedades físicas, acústicas,…, etc.

Al insertar por completo los datos del equipo de medición en ArchiCAD el trabajo en el interfaz se ralentiza mucho. Los puntos introducidos actúan como un bloque al inicio, por lo que hay que convertirlos a *Forma* para que puedan ser seleccionados independientemente, y así tomarlos como puntos de referencia (con coordenadas espaciales) para el proceso del modelado.

En cambio, la nube de puntos se ha movido fácilmente en el interfaz de Revit. Y es porque el asistente Point Cloud convierte la información del escáner en un archivo "indexado", es decir, que está vinculado externamente. La otra gran ventaja es que nos ha permitido trabajar directamente sobre los puntos del levantamiento, con atracciones automáticas para introducir fácilmente las geometrías de muros, pilares, forjados y cubiertas.

Por el contrario, las limitaciones han estado puestas en la representación de las peculiaridades del patrimonio arquitectónico y arqueológico, provistas habitualmente de desplomes, abombamientos y cambios intrínsecos en una misma entidad constructiva (paramento o pavimento). Aquí no nos ha quedado más remedio que proceder, en una fase posterior, a deformar las geometrías básicas de los elementos paramétricos introducidos. El uso de herramientas

[257] La aplicación Point Cloud Cadimage es una versión BETA que hemos empleado para la gestión de la nube de puntos dentro de ArchiCAD.

flexibles de modelado, como es *Forma* de ArchiCAD, nos ha permitido adaptarnos a las irregularidades actuando en el modelo de manera puntual, es decir, tomando referencias de los puntos en ese sector de la nube.

Finalmente las derivaciones del levantamiento por escaneado láser han sido muy satisfactorias pues hemos podido detectar ciertos descartes en los anteriores levantamientos al ser contrastado con el modelado inicial, principalmente en deformaciones por asentamientos del edificio (pórticos desplomados y vigas vencidas) y en desprendimientos de alicatados y yeserías.

11.3.2. En cuanto a modelar con objetos paramétricos

El uso de aplicaciones BIM que incorporan objetos paramétricos GDL ha supuesto un antes y un después en la obtención de la documentación gráfica y la gestión de los datos intrínsecos, estos últimos imprescindibles para conformar listados específicos de datos para la catalogación de elementos dentro de cada disciplina. La información incluida en sus parámetros definidores no sólo estará disponible en el modelo de información para que el profesional interviniente haga uso de ella, sino también para otros investigadores que necesiten tener acceso a ella durante el ciclo de vida del edificio.

11.3.3. En cuanto a la fotogrametría

De la implementación del modelo del Cenador de Carlos V desarrollado en esta tesis se ha podido contrastar que la fotogrametría monoscópica es un recurso de gran precisión adecuado para la captura de las geometrías de elementos arquitectónicos concretos (yeserías, capiteles y tallas en carpinterías), que son de difícil modelado por las herramientas de diseño del software utilizado. Como también la técnica fotogramétrica en la restitución de imágenes, que ha permitido el análisis de revestimientos de azulejos y pavimentos deteriorados. La técnica de mapeado, asociando orto-imágenes a las caras de los elementos antes modelados (muros, suelos, techos…), nos permite una continuada exploración de los datos desde el mismo modelo y de manera inmediata.

Este registro de información es fundamental como base documental en el estudio paramental, que para el caso de prospecciones temporales que luego se recubrirán para establecer el estado anterior, como las expuestas en la antigua Cárcel de la RFT de Sevilla, quedan integradas en el modelo como investigación de una intervención transitoria. En el supuesto de que afloren nuevas averiguaciones, existirá siempre la posibilidad de revisiones posteriores que acabarán incorporándose en el modelo arquitectónico de manera maleable.

11.3.4. De la identificación y clasificación de elementos

En el campo de la arqueología, el modelo BIM se presenta como una herramienta muy eficaz para asentar la identificación estratigráfica en cualquier estudio paramental. Las entidades paramétricas tipo *muro, forjado, pilar y cubierta* del modelo preliminar podrán ser transformados en entidad *forma* para proceder a una subdivisión en nuevos *subelementos* o unidades estratigráficas (UE).

La sistemática empleada, que pensamos es fácil y automática, no tiene límites de subdivisión. Además, las ortofotos asociadas inicialmente a las superficies de cada entidad (que las relacionamos con una cata o porción de muro) sufrirán el mismo proceso de fraccionamiento. El resultado se traduce en la obtención de tantas unidades estratigráficas (UE) como contorneados practicados a la *forma* origen (Cata). Cada nueva UE delimitada incorporará una fracción de la imagen global, tomada en los trabajos de prospección, sin que varíen sus coordenadas de inserción (de la primera fase de texturizado del modelo).

Para la sección de restauración este mismo procedimiento ha sido igual de efectivo. El restaurador, al igual que el arqueólogo, demanda una identificación exhaustiva de las piezas insertas en los paños, necesaria para que sean analizadas, asemejadas y clasificadas antes de proceder a la restauración. Por ello, lo hemos aplicado en los modelos para identificar las piezas de los alicatados de muros y las baldosas de pavimentos, aunque también podría aplicarse a revestimientos de techos (artesonados) y faldones de cubiertas. La gran ventaja es que siempre hemos partido de un texturizado de las superficies de cada elemento paramétrico de manera global. A partir de la primera ortofoto, se han ido creado fragmentos al contornear directamente sobre ella para identificar azulejos, cenefas, listeros, baldosas y demás formas geométricas que son reconocibles en la fotografía.

11.3.5. De la identificación de patologías

Por los resultados obtenidos, podemos legitimar el empleo de la herramienta de Marcado de ArchiCAD para destacar las patologías detectadas. La identificaron ha excedido el simple marcaje con un color para destacar zonas anómalas dentro del modelo tridimensional, que después quedarán reflejadas en la planimetría del proyecto de intervención. El poder interactuar desde el panel *Herramientas del Marcador* ha facilitado enormemente el trabajo de exploración; hemos realizado visualizaciones "con lupa" y selecciones de elementos en la vista de manera inmediata por la vinculación automática con el marcado representado.

11.3.6. De los estados de Rehabilitación

El asistente de *Rehabilitación* ha funcionado como un filtrado de información gráfica muy útil en edificios que acarrean una evolución histórica y, por consiguiente, constructiva. Creemos que es esta funcionalidad una de las que más diferencia el Sistema BIM de otros Sistemas de Gestión de datos. Y es lógico, pues el primero está sustentado en una organización de la Información desde una perspectiva de construcción.

Se ha constatado la eficacia del filtrado de *Rehabilitación* para la reforma y adecuación de edificios, quedando reflejado en el video[258] para la reforma interior hipotética del modelo BIM de la antigua Cárcel de la RFT. Igualmente ha sido muy práctico en el estudio paramental para mostrar las diferentes *Fases* de la intervención y plasmarla en la planimetría: *Plano Existente, Plano de Demolición* (para destacar elementos a ser picados) y *Plano Después de la demolición* (o picado).

Pero el asistente incorpora otra arma de gran ayuda para clasificar elementos arquitectónicos. Podemos asociarles el *Estado* en el que se encuentra la *Rehabilitación* de un elemento concreto (existente, a ser demolido, nuevo), que para el caso de piezas deterioradas nos ha permitido asociarles el ítem *a ser Demolido* por ser firme su intervención o sustitución. De igual modo, al restaurador se le ha facilitado caracterizar el *Estado* de conservación *de la* pieza.

11.3.7. De la materialidad de los elementos

El sistema BIM nos ha aportado otro gran beneficio para el trabajo interdisciplinar en un edificio histórico, como es la materialidad de los elementos representados. Poder disponer de un Catálogo de Materiales agrupados en tipologías constructivas es primordial para trabajos de estudios históricos, evolutivos y patológicos, mucho de ellos complementados con análisis en laboratorio, del tipo físico o químico, donde cada disciplina del equipo de intervención pueda acceder a datos específicos de los materiales examinados. De este modo, podemos confirmar que el proyecto HBIM está plenamente sustentado en un modelo 5D, que extrapola los datos geométricos de una maqueta virtual para constituirse en núcleo de información multidisciplinar del proyecto de intervención.

Hemos probado como a las unidades estratigráficas identificadas en el muro estudiado del modelo BIM se le han asignado el material y la técnica constructiva empleada en ellas. Y cómo al restaurador se le ha facilitado una base de datos flexible que incorpora las propiedades físicas de los materiales (conductividad térmica, densidad y capacidad calorífica) y otros ítems específicos a la actividad emprendida: grado de conservación, tipos de agresiones y técnica de

[258] Enlace al video de Rehabilitación: https://www.youtube.com/watch?v=xDQzF_dPx7s

restauración (aunque esta última dependerá de las conclusiones a las que llegará el especialista, emanadas de los estudio de auscultación realizados).

11.3.8. De la gestión de datos

Confirmar que el Sistema BIM genera un modelo gráfico de entidades paramétricas que permite la correcta clasificación y administración de la información recopilada. Nos ha facilitado la gestión de los datos, gráficos y alfanuméricos, desde el mismo software y sin necesidad de vinculaciones con bases externas.

Los Esquemas de datos generados son configurables para adaptarse a cada disciplina, incorporado los ítems esenciales para cada agente interviniente o especialista. Estos a su vez son interactivos para facilitar las tareas de edición, sea desde el mismo objeto paramétrico inserto en el modelo o por la selección del dato en el esquema vinculado. Es decir, cualquier cambio en las características de un elemento constructivo integrado en el modelo BIM se reflejará de inmediato en el esquema de datos. Los resultados serán análogos si se procede de forma contraria.

La caracterización realizada en muros y forjados para identificar piezas y elementos destacables, sea para un estudio paramental o para una restauración, ha quedado interrelacionada con los Esquemas de datos diseñados para cada especialista: Inventarios de piezas para la restauración de alicatadas y pavimentos, y Fichas de unidades estratigráficas incluidas en las catas de los muros examinados.

Hemos creado esquemas específicos por familias constructivas para constituir un inventariado del modelo de información, que incluyen datos geométricos, una imagen y propiedades intrínsecas al elemento: Fichas Inventarios para arcos, carpinterías, columnas, pedestales y remates, capiteles, vigas de la estructura de logias, vigas de la estructura de cubiertas, vigas del artesonado y piezas de la cúpula.

Y se han editado Listados de cuantías para obtener las mediciones fundamentales del edificio intervenido, que podrán ser vinculadas a bases de precios dentro del mismo software BIM, o ser transferidas a aplicaciones de gestión de costes, y obtener así el presupuesto de las obras de Restauración. Al modelo del Cenador de Carlos V le hemos extraído, desde el software ArchiCAD, las superficies de muros, pavimentos, forjados, y cubiertas.

11.3.9. En cuanto a la Interdisciplinariedad

Ha quedado demostrado que el proyecto HBIM sigue un entorno basado en datos (gráficos y alfanuméricos), alejándose del sistema de CAD tradicional que está basado sólo en gráficos. Pero, además, constituye una plataforma de gran sustento al equipo multidisciplinar al proporcionarnos una automatización de procesos que facilita una transmisión de información fiable y coordinada. En los

modelos expuestos, previamente estructurados según las labores y objetivos a cometer, cada especialista ha podido trabajar directamente sobre un único modelo BIM en la zona asignada para el desarrollo de la materia específica. El restaurador ha tenido a su disposición todos los paramentos y pavimentos representados en el espacio, con superficies que incorporan texturas reales perfectamente acopladas y con una fragmentación en piezas bien estructurada para iniciar las labores de análisis, identificación y sectorización de los paños a intervenir. Igualmente, el arqueólogo ha podido realizar una lectura paramental sobre fotografías tomadas en las fases de auscultación, que igualmente han sido segmentadas en número conforme a las unidades estratigráficas identificadas.

En los casos presentados hemos dejado apartado la colaboración con agentes externos, que emplean aplicaciones específicas de su área disciplinar (ingenierías especializadas en estructura, instalaciones,…) pero que requieren de una documentación gráfica y de datos intrínsecos a los elementos del modelo. Aunque creemos que esta parcela queda fuera de la temática general de la tesis, más cuando estos trabajos especializados en edificios históricos se suelen hacer sin afectar al sistema estructural y espacial. De todos modos, para que el modelo sea interoperable deberá estar preparado para una transmisión efectiva de datos, siendo aquí fundamental saber organizar los elementos para cometer un filtrado de información intercambiable.

11.4. Viabilidad del Modelo de Información del Edificio Histórico

Si partíamos de la conjetura general de generar un modelo de información preciso destinado a la gestión del patrimonio arquitectónico y arqueológico intervenido, y que estuviera además sustentado de una base científica, ahora podemos atestiguar que por los resultados cosechados hemos llegado a su consecución.

Con el levantamiento geométrico del patrimonio arquitectónico apoyándonos en el Sistema BIM no hemos pretendido, como objetivo prioritario, obtener una maqueta derivada de la *reconstrucción virtual*[259] del edificio. Esta, como nuevo modelo de referencia, constituirá el núcleo esencial del proyecto de intervención sobre el que volcaremos todo tipo de datos provenientes de la investigación, proporcionando un conocimiento científico de sus sistemas constructivos, las características físicas de sus elementos, la evolución histórica y las patologías

[259] Según la Carta Internacional de Arqueología Virtual (Borrador SEAV), este térmico "comprende el intento de recuperación visual, a partir de un modelo virtual, en un momento determinado de una construcción u objeto fabricado por el ser humano en el pasado a partir de las evidencias físicas existentes sobre dicha construcción u objeto, las inferencias comparativas científicamente razonables y en general todos los estudios llevados a cabo por los arqueólogos y demás expertos vinculados con el patrimonio arqueológico y la ciencia histórica". Virtual Archaeology Review VAR, Vol. 2, Nº 4, pág. 71.

detectadas, a la vez que dispondremos de una representación gráfica de la forma existente del patrimonio arquitectónico.

El que hemos denominado Modelo de Información del Edificio Histórico o HBIM (*Historic Building Information Modelling*) nos facilitará un mejor entendimiento de la forma arquitectónica, una verdadera labor de construcción del modelo, con la obtención de los documentos gráficos del proyecto de intervención. Hechos que derivarán fundamentalmente en un "conocimiento científico del edificio, fruto del análisis de las pruebas y ensayos realizados" (LATORRE Y CÁMARA, 1997).

El proyecto HBIM equivaldrá a un sistema de información integrado, con un modelo virtual del edificio histórico y una base de datos enlazada a él, que nos facilitará una gestión eficaz de la planimetría, con una actualización constante de sus vistas, y un inventariado de todos los elementos constituyentes, estructurados por categorías mediantes listados y esquemas interactivos.

11.5. Las nuevas aportaciones al campo patrimonial

Son varios los beneficios que aportamos al campo del Patrimonio en general. Primeramente estamos ofreciendo un modelo depurado, único y con información completa (gráfica y alfanumérica) e interoperable disciplinalmente. Esta es la gran diferencia con otros Sistemas de Información que llevan años implementándose en el campo patrimonial, que aunque están ayudando enormemente a la gestión de la información, sobre todo en aspecto georeferencial, su vinculación con las aplicaciones gráficas no está totalmente consolidada. Pero creemos que esta limitación es más derivada de las restricciones del CAD que del propio sistema de gestión de datos.

La ventaja de usar la tecnología BIM estriba en que es un sistema que está configurado desde sus inicios como un procedimiento íntegro de construcción, y por ello beneficia enormemente el trabajo en el patrimonio construido: arquitectónico y arqueológico.

Otra gran aportación es que disponemos de un modelo flexible que admite prolongadas transformaciones en todas las fases de la intervención. Además seguirá siendo operativo para recoger posteriores estudios en sus diferentes facetas: histórica, arqueológica, arquitectónica y artística. Por tanto, el proyecto HBIM se constituye como el núcleo documental del edificio histórico para acometer los trabajos de mantenimiento y las posteriores intervenciones.

11.6. Líneas de investigación futuras

Actualmente hay abierto un amplio debate a ámbito internacional sobre el uso necesario del Sistema de Información para la Construcción o BIM, y su implantación en todos las áreas productivas de la sociedad, sobrepasando las propias del área AEC. Un nuevo enfoque que extrapola el simple modelado.

El concepto de BIM se ha amplificado para convertirse en una ventaja competitiva en nuestro trabajo y, por ello, eficiente en todos los aspectos. Hoy, el Sistema BIM hay que entenderlo como un "proceso productivo completo de principio a fin. Desde diseño a deconstrucción"(MARTÍNEZ, 2013)[260]. Aunque para ello es necesario un cambio de actitud en la metodología de trabajo y en nuestras relaciones laborales.

El Patrimonio no puede quedarse al margen de esta cuestión pues cubre un área muy amplia en nuestra sociedad. Además, abre un gran abanico de posibilidades en el uso de esta tecnología para mejorar el trabajo de cada disciplina y facilitar una mejor transmisión de información.

Enumeraremos algunas de esos temas que podrían ser objeto de futuras líneas de investigación. Proponemos las siguientes:

- La transmisión de los datos que incorporan los Esquemas y Fichas generadas del modelo BIM a aplicaciones más específicas que utilizan los especialistas; un tema que no hemos desarrollado en la tesis pero que vemos es crucial para cerrar el flujo de información interdisciplinar en un proyecto de intervención HBIM. De este modo, y en el caso de un estudio paramental, el arqueólogo podría vincular de manera automática la ficha de unidades estratigráficas identificadas en el modelo BIM para generar la matrix de Harris.

- Creación de una biblioteca de materiales y sistemas constructivos característicos de edificio históricos, incluyendo imágenes tipo y propiedades físicas. Este estudio y clasificación debería acotarse por áreas de influencia de cada etapa histórica, siendo los propios investigadores de cada intervención los que deben aportar la información precisa para cotejarla con la surgida en otras zonas similares y conformar así un banco avalado científicamente.

- El modelo debe estar preparado para ser utilizado en otros estudios o trabajos de laboratorio de apoyo al proyecto HBIM, como es la detección de patologías comunes en fachadas de edificios históricos y el análisis termográfico de los cerramientos en función del comportamiento de los materiales de construcción utilizados, sobre todo, en zonas que no pueden ser sondeadas.

- Todas las propuestas anteriores van dirigidas a lograr un proyecto de intervención en el patrimonio arquitectónico lo más "eficiente". Faltaría para completar este ciclo, la otra eficiencia, la energética de un edificio patrimonial. Han pasado varios años desde que entró en vigor el Documento Básico de Ahorro de energía (DB-HE) del Código Técnico de la Edificación, con el propósito de establecer reglas y procedimientos que permitan que los edificios cumplan unas exigencias mínimas de ahorro de energía. Ahora se intenta que ningún edificio quede fuera del ámbito del cumplimiento de la norma.

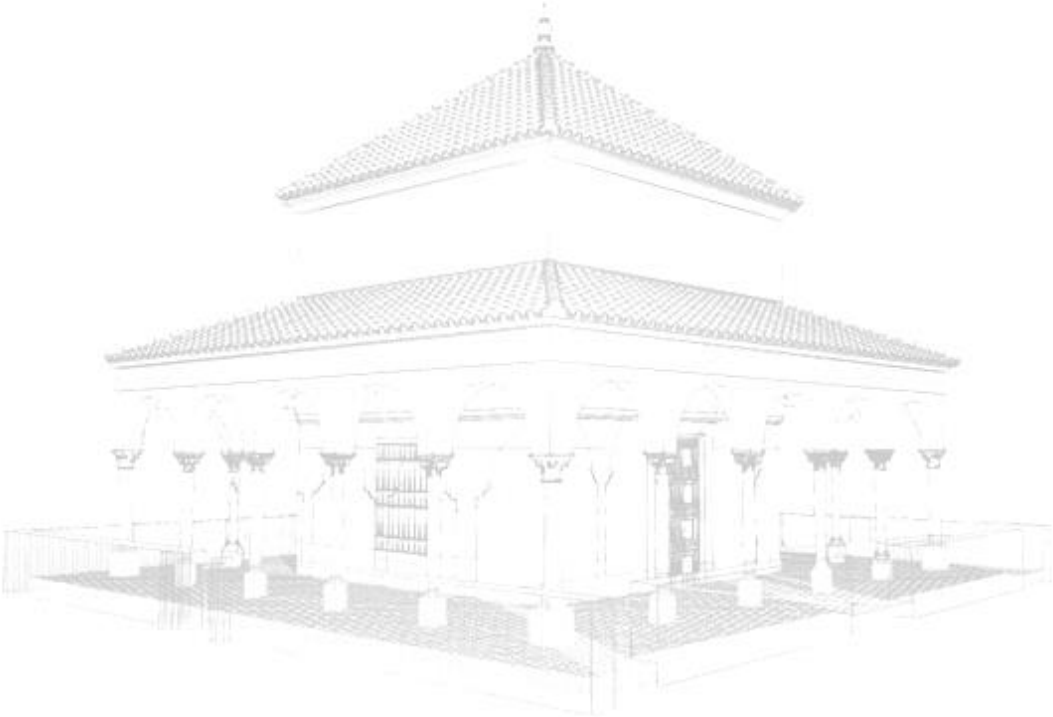
[260] BIM… Luces y sombras, dos años después. 1º Congreso BIM. EUBIM 2013. Valencia.

Los actuales Softwares BIM, entre ellos ArchiCAD, permiten realizar simulaciones sobre el modelo virtual, algo que es de gran importancia para que en la fase previa de diseño se consiga un consumo energético mínimo. Y están preparados para vincularse con aplicaciones para el cálculo energético y cumplir con un flujo característico Arquitectura-Energía, pues, como hemos expuesto, disponen de una base de materiales con propiedades físicas (conductividad térmica, densidad y capacidad calorífica). Ahora es un buen momento de utilizar el Sistema BIM en el proceso de estudio de cualquier intervención patrimonial. Una nueva línea de investigación que tiene mucho que recorrer, pero que con la contribución de todos podemos llegar a lograr grandes retos en un menor tiempo.

Esto contribuirá a que los diferentes fabricantes de aplicaciones energéticas tengan encuentra los diferentes sistemas constructivos tradicionales que se han empleado en la historia de la arquitectura, las características de carpinterías y vidrieras, el gran volumen de los espacios en lugares de culto religioso, como los demás factores ambientales propios de la ubicación de la construcción y de las transformaciones de la morfología de la ciudad con el paso de los siglos.

Capítulo 12

BIBLIOGRAFÍA



12.BIBLIOGRAFÍA

12.1. Bibliografía General del Patrimonio Histórico

ALMAGRO, A. (2008): "La puerta califal del Castillo de Gormaz". *Arqueología de la Arquitectura*, Vol. 5. CSIC. Madrid, pp. 55-77.

ALMAGRO, A., ALMAGRO VIDAL, A. (2002): "La expresión gráfica en el análisis del patrimonio: El patio del crucero del Alcázar de Sevilla". *IX Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica*. Revisión: Enfoques en docencia e investigación. La Coruña, pp. 553-558.

ALMAGRO, A. (2000): *Planimetría del Alcázar de Sevilla*. Patronato del Real Alcázar. Escuela de Estudios Árabes, CSIC. Granada.

ALMAGRO, A. (1996): "La fotogrametría en la documentación del patrimonio histórico". *Cuadernos Técnicos*, 2. IAPH. Consejería de Cultura, Junta de Andalucía. Sevilla.

ALMAGRO VIDAL, A. (2008): *El concepto de espacio en la arquitectura palatina andalusí*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.

ARCE, F. (2010): "La iglesia altomedieval de la Asunción en San Vicente del Valle (Burgos): historiografía, estratigrafía e interpretación". *Arqueología de la Arquitectura*, Vol. 7. CSIC. Madrid/Vitoria, pp. 67-103. <fernando.arce@cchs.csic.es>.

ARCE, I. (1999): *Metodología de la restauración y de la rehabilitación*. Tratado de Rehabilitación, Tomo 2. III. Munilla-Lería. Madrid.

AZKARATE, A. (2010): "El análisis estratigráfico en la restauración del patrimonio construido". *Arqueología aplicada al estudio e interpretación de edificios históricos. Últimas tendencias metodológicas*, pp. 51-63. Ministerio de Cultura. Madrid. <agustin.azcarate@ehu.es>.

AZKARATE, A. (2002): "Intereses cognoscitivos y praxis social en la arqueología de la arquitectura". *Arqueología de la Arquitectura*, Vol. 1. CSIC. Madrid, pp. 55-71.

AZKARATE, A., CÁMARA, L., LASAGABASTER, J. I., LATORRE, P. (2001): *Catedral de Santa María. Vitoria-Gasteiz*. Plan director de Restauración. Vitoria.

BECERRA ROMANA, J.M. (1992): *Alicatados de Sevilla*. Probyc, SL. Sevilla.

BROGIOLO, G. P. (1996): "Esperienze nel Bresciano di studio archeologico dell'architettura". *Storia delle tecniche murarie e tutela del costruito; esperienze e questioni di método*. Della Torre, S. Milán, pp.181-194.

BROGIOLO, G.P. (1995): "Arqueología estratigráfica y restauración". *Informes de la Construcción*, Vol. 46, nº 435. Instituto Eduardo Torroja. Centro Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.

BROGIOLO, G. P. (1988): *Archeologia dell'edilizia sto- rica*. New Press. Como.

CABALLERO, L. (1995): "Método para el análisis estratigráfico de construcciones históricas o Lectura de paramentos". *Informes de la construcción*, Vol. 46, nº 435. Instituto Eduardo Torroja. Madrid.

CABALLERO, L. (2010): "Experiencia metodológica en Arqueología de la Arquitectura de un grupo de investigación. Instituto de Historia. CSIC. Madrid". *Arqueología aplicada al estudio e interpretación de edificios históricos. Últimas tendencias metodológicas*. Ministerio de Cultura. Madrid, pp. 103-119. <luis.caballero@cchs.es>

CÁMARA, L., LATORRE, P. (2004): "El modelo analítico tridimensional obtenido por fotogrametría, descomposición, manipulación y aplicaciones en el campo de la restauración arquitectónica. El caso de la catedral de Vitoria-Gasteiz, (Álava)". *Máster de restauración del patrimonio histórico*. *Área 1. El conocimiento*. Colegio Oficial de Arquitectos de Murcia y Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de la región de Murcia. Murcia.

CÁMARA L., LATORRE, P. (1997):"Sistemas de Información para la conservación del Patrimonio. Fotogrametría aplicada a la arquitectura". Resumen de las *II Jornadas de Fotogrametría Arquitectónica*. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid. Valladolid.

CARANDINI, A. (1996): *Storie dalla terra. Manuale di scavo archeologico*. Einaudi, Torino. 1991, 1996 e 2000. http://www.carmencovito.com/rossanero/carandini_estratti.pdf

CHUECA GOITIA, F. (1953): *Arquitectura del siglo XVI*. Colección Ars Hispaniae : Historia Universal del Arte Hispánico 11. Plus-Ultra. Madrid.

CUEVAS, L. (1946): *Un ejemplar español de arquitectura industrial del siglo XVIII*. Asociación Nacional de Ingenieros Industriales. Madrid.

DOGLIONI, F. (2002): "I segni della stratificazione nelle' architettura construita. Identificazione e conservazione nel restauro". *Arqueología aplicada al estudio e interpretación de edificios históricos. Últimas tendencias metodológicas*. Ministerio de Cultura. Madrid , pp.129-143.

DOGLIONI, F. (2002). "Ruolo e salvaguardia delle evidenze stratigrafiche nel progetto e nel cantiere di restauro". *Arqueología de la Arquitectura*, Vol. 1. Vitoria-Gasteiz, pp.113-130.

DOGLIONI, F. (1988): "La ricerca sulle strutture edilizie tra archeologia stratigrafica e restauro architettonico". En R. FRANCOVICH, R. PARENTI (a cura di), Archeologia e restauro dei monumenti, Firenze 1988, pp. 223-248. Disponible en:

http://www.bibar.unisi.it/sites/www.bibar.unisi.it/files/testi/testiqds/q12-13/11.pdf

DOGLIONI, F. (1988). La ricerca sulle strutture edilizie tra archeologia stratigrafica e restauro architettonico,

DOGLIONI, F. (1997): *Stratigrafia e restauro*. Lint. Trieste.

ESTEBAN, J. (2007): "Constantes y procesos determinantes en la conservación del patrimonio arquitectónico español (1844-1900)". *Actas del II Seminario Teoría e Historia de la Restauración en España 1844-1900* (Valencia 1997). VII Máster en Conservación del Patrimonio Arquitectónico. Universidad Politécnica de Valencia, 2-33.

FONTENLA SAN JUAN, C. (1998): "El proyecto de restauración: documento en el libro de fábrica del monumento". *Cuadernos de estudios gallegos*, Tomo XLV, Fascículo 110, (c) CSIC. Santiago,

FONTENLA SAN JUAN, C. (1998). "El proyecto de restauración: documento en el libro de fábrica del monumento". *Cuadernos de estudios gallegos*, Tomo XLV, Fascículo 110. CSIC. Santiago. Disponible en: http://estudiosgallegos.revistas.csic.es

GÁLVEZ, I. (1997): La mecanización en la Fábrica de Tabacos de Sevilla bajo la gestión de la Compañía arrendataria de tabacos (1887-1945). Fundación Empresa Pública, Madrid.

GONZÁLEZ MORENO-NAVARRO, A.

- (2007): "Restaurar es reconstruir. A propósito del nuevo monasterio de Sant Llorenç de Guardiola de Berguedà (Barcelona)". Revista *e-rph*, diciembre 2007.
- (1995): "Investigación histórica y proyecto de restauración". *Astrágalo, 3* (55-62).
- (1992,b): "Especificidad y dificultad de la restauración de la arquitectura testimonial". *Actuacions en el patrimoni edificat*.... Barcelona, pp. 9-14.
- (1992,a): La capella del Santissim de L 'esglesia de Sant Miquel de Cardona. Barcelona.
- (1990.b): *La resignificación de la arquitectura histórica*. Basa. Coleg. of de arquit. de Canarias, 12.
- (1990,d): "Estudio, uso y abuso del patrimonio arquitectónico". Monumentos y Proyecto. *Jornadas sobre criterios de intervención en el patrimonio arquitectónico*. Madrid.
- (1990,c): "A la recerca de la restauració objectiva. Com i per a qui restaurem". *Objectives, metodes i difusió de la restauració monumental. Memoria 1985*. Servei del patrimoni arquitectonic de la Diputació de Barcelona. Barcelona, pp. 7-12.
- (1990,a): *Monumentos y proyecto.* M. de Cultura. Madrid.
- (1988,c): Conservació del patrimoni: recerca, diseny, us. Arrel, nº 18. Barcelona.
- (1988,b): "Restaurar monumentos, una metodología específica". *Informes de construcción,* nº1397. Madrid.
- (1986): La investigación histórica en el proceso de intervención en los monumentos. Historia y Arquitectura. La recerca histórica en el procès d'intervenció en els monumentes. Servei de Catalogació y Conservació de Monuments. Barcelona.
- (1985,c): "Por una metodología de la intervención en el patrimonio arquitectónico". *Revista de Arte*, nº 6. Madrid.
- (1985,b): "La investigación histórica en el proceso de intervención de los monumentos". *Actas del VII cursillo sobre la intervención en el patrimonio arquitectónico*. Vico 1984. Barcelona, pp. 9-11.
- (1985,a): Recerca i disseny. El monument com a document historie i com a objecte arquitectonic viu. Barcelona.

HARRIS, E.C. (1991): *Principios de estratigrafía arqueológica*. Prólogo a la edición española de Emili Junyent. Editorial crítica. Barcelona.

IGLESIAS, H. (1992): Fábrica Real de Tabacos de Sevilla. Dibujos realizados en la Segunda Cátedra de Análisis de Formas Arquitectónicas. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Tabapress. Madrid.

JIMÉNEZ MARTÍN, ALFONSO (1997): "Enmiendas parciales a la Teoría del Restauro. (I) Imágenes y palabras". *Loggia, Arquitectura y Restauración*, nº 4, pp. 10-19.

LATORRE, P. (2010): "La conservación del tiempo en la restauración: el proyecto estratigráfico". *Arqueología aplicada al estudio e interpretación de edificios históricos. Últimas tendencias metodológicas*. Ministerio de Cultura. Madrid.

LATORRE, P. (1988): "El sitio histórico de Melque (Toledo). La intervención integrada con una finalidad didáctica". *Archeologia e restauro dei monumento*, pp. 157-194. Firenze.

LATORRE, P y CAMARA, L. (2002): "Los procesos de transformación de la arquitectura en el tiempo". *Quaderns Científics i Técnics de Restauració Monumental*, 13. I Bienal de la Restauración, pp. 161-177. Barcelona.

LATORRE, P. Y CAMARA, L. (1997): "Sistemas de información para la conservación del patrimonio". Ponencia presentada en el *CIPA International Symposium*.

LATORRE, P., CABALLERO, L. (1995): "La importancia del análisis estratigráfico de las construcciones históricas en el debate sobre la restauración monumental. *Informes de la construcción*, nº435, pp. 5-18. Madrid.

MALDONADO, L., VELA, F. (1999): "Estrategia y metodología de la intervención en edificios históricos. Una perspectiva desde la arquitectura y la arqueología". *Metodología de la restauración y de la rehabilitación*. Tratado de Rehabilitación, Tomo 2. III. Munilla-Lería. Madrid.

MANNONI, T. (1998). Analisi archeologiche degli edifici con strutture portanti non visibili. Archeologia dell' Architettura, pp. 81-85.

MARIN, A. (1987). *El Alcázar de Sevilla bajo los Austrias*. Volumen I. Fundación Fondo de Cultura de Sevilla. Sevilla

MESA GISBERT, A., REGOT, J. NÚÑEZ, M.A. y BUIL, F. (2009): "Métodos y procesos para el Levantamiento de reconstrucción tridimensional gráfica de elementos del patrimonio cultural. La iglesia de Sant Sever de Barcelona". *Revista EGA* 14, pp. 82-89.

MESA GISBERT, A., REGOT, J. NÚÑEZ, M.A. y BUIL, F. (2006): *Toma de datos, análisis y técnicas de modelado para el control métrico de elementos en Selinunte*. Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica I y Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartografía y Geofísica. UPC.

Disponible en http://www-cpsv.upc.es/documents/ResumenSelinunte.pdf

MILETO, C., VEGAS, F. (2010): "El análisis estratigráfico: una herramienta de conocimiento y conservación de la arquitectura". *Arqueología aplicada al estudio e interpretación de edificios históricos*. Últimas tendencias metodológicas. Ministerio de Cultura. Madrid, pp. 145-157.

MORALES SÁNCHEZ, J. (1991): La Real Fábrica de Tabacos, Arquitectura, Territorio y Ciudad en la Sevilla del siglo XVIII. Primer premio de arquitectura COAAO. Sevilla.

NAVARRO, P., HERRÁEZ, J., MORA, A., BARROS, H. Y DENIA, J.L. (2011): Aplicaciones de la tecnología de digitalización tridimensional por la coordinación de monumentos históricos del instituto nacional de arqueología e historia (INAH) en México DF. (2009 y 2010). *Revista EGA* 17, pp. 42-53.

Disponible en: http://ojs.upv.es/index.php/EGA/article/view/882

NIETO JULIÁN, E. (2012): "Generación de modelos de información para la gestión de una intervención de rehabilitación: La cárcel de la Real Fábrica de Tabacos de Sevilla". *Virtual Archaeology Review. VAR*, Vol. 3, nº 5.

Disponible en: http://www.varjournal.es/doc/varj03_005_12.pdf

PARENTI, R., (1996): "Individualización de las unidades estratigráficas murarias", en Caballero, L. y Escribano, C. (eds.): *Arqueología de la Arquitectura. El método arqueológico aplicado al proceso de estudio y de intervención en edificios históricos*. Salamanca, pp. 75-86.

PARENTI, R. (1988): "Le tecniche di documentazione per una lettura stratigrafica dell'elevato". En FRANCOVICH, R., PARENTI, R. *Archeologia e restauro dei monument*. Universidad de Siena. Siena, pp. 249-279.

PARENTI, R. (1986): "La torre B". *Archeologia Medioevale*, nº XIII. Alinea, pp. 277-296.

RAMÍREZ DE ARELLANO, A. (2000): *Aspectos económicos de la recuperación de edificios*. Universidad de Sevilla. Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción. Sevilla.

TABALES, M.A. (2010): "La investigación arqueológica en edificios históricos. Metodología y experiencias. El Alcázar de Sevilla". *Arqueología aplicada al estudio e interpretación de edificios históricos. Últimas tendencias metodológicas*. Ministerio de Cultura. Madrid, pp. 159-177.

TABALES, M.A. (2002): *Sistema de análisis arqueológico de edificios históricos*. Universidad de Sevilla, Secretariado de publicaciones. Sevilla.

TABALES, M.A. (2002): "Arqueología y rehabilitación en Sevilla. Desarrollo metodológico y práctico". *Arqueología de La Arquitectura*, Vol. 1. CSIC. Madrid, pp. 193-206.

VELA, F. (1999): "Intervenciones arqueológicas en proyectos de restauración de edificios históricos". *Metodología de la restauración y de la rehabilitación*. Tratado de Rehabilitación, Tomo 2. III. Munilla-Lería. Madrid.

12.2. Específica de los Sistemas de Representación

ALBERTZ, J. *Albrecht Meydenbauer – Pioneer of Photogrammetric Documentation of the Cultural Heritage*. Disponible en: http://www.hasler.net/Meydenb.pdf

ALMAGRO, A. (2010). *Veintidós años de experiencia de fotogrametría arquitectónica en la Escuela de Estudios Árabes, CSIC*. Documentación Gráfica del Patrimonio, pp. 26-45. Madrid. Disponible en: http://digital.csic.es/bitstream/10261/49861/1/2011IPCE.pdf

ALMAGRO, A. (2003): *De la fotogrametría a la infografía. Un proceso informatizado de documentación.* Disponible en: http://digital.csic.es/bitstream/10261/19816/1/Fotogrametria-Infograf%C3%ADa.pdf

ALMAGRO, A. (2000): "Fotogrametría para arquitectos, el estado de la cuestión". *Actas del VIII Congreso de Expresión Gráfica Arquitectónica*. Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica, U.P.C. Barcelona.

CARTA DE CRACOVIA (2000): *Principios para La Conservación y Restauración del Patrimonio Construido*. Versión española del Instituto Español de Arquitectura (Universidad de Valladolid), Javier Rivera Blanco y Salvador Pérez Arroyo. Miembros del Comité Científico de la "Conferencia Internacional Cracovia 2000". Disponible en: http://www.mcu.es/museos/docs/CartaDeCracovia.pdf

CARTA DE ICOMOS *para La Interpretación y Presentación de Sitios de Patrimonio Cultural* (2007): Borrador final. Revisado por el Comité Científico Internacional de Interpretación y Presentación de Sitios de Patrimonio Cultural ICOMOS, 10 Abril 2007. Disponible en: http://www.arqueologiavirtual.com/carta/wp-content/uploads/2012/02/2008_CARTA-ENAME.pdf

CARTA DE LONDRES *para La Visualización Computarizada del Patrimonio Cultural* (2009): Edición y traducción española a cargo de Alfredo Grande León (Universidad de Sevilla) y Víctor M. López-Menchero Bendicho (Universidad de Castilla-La Mancha). Texto original a cargo de Hugh Denard (ed.), King's College London, 7 Febrero 2009. Disponible en: http://www.arqueologiavirtual.com/carta/wp-content/uploads/2012/02/2009_-CARTA-DE-LONDRES-2_11.pdf

CIGNONI, P. et al. (2008): "Meshlab: an open-source 3D mesh processing system". *ERCIM News*, 73, pp. 45-46.

CIGNONI, P. et al. (2008): "Meshlab: an open-source mesh processing tool". *Sixth Eurographics Italian Chapter Conference*, pp. 129–136.

FERRIS State University. *History of Photogrammetry*. Surveying Engineering Department. Disponible en: http://www.ferris.edu/faculty/burtchr/sure340/notes/history.pdf

FLORES, M., RUFETE, T., MACANÁS, J., MARTÍNEZ; J., LÓPEZ, C., RAMOS,F.(2010): "Visor de Realidad Aumentada en Museos (RAM) para Exposiciones Situadas en Entornos Cerrados". *II Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación*. SEAV. Sevilla , pp. 221-225. Disponible en: https://www.academia.edu/1031196/Visor_de_Realidad_Aumentada_en_Museos_RAM_para_Exposiciones_Situadas_en_Entornos_Cerrados

GARCÍA-GÓMEZ, I., MIREN FDEZ. DE GOROSTIZA, M., MESANZA, A., (2011): "Láser escáner y nubes de puntos. Un horizonte aplicado al análisis arqueológico de edificios". *Arqueología de La Arquitectura,* Vol. 8, pp. 25-44. Madrid/Vitoria.

GENTIL BALDRICH, J. M. (1998): Método y aplicación de representación acotada y del terreno. Ed. Bellisco. Sevilla.

GENTIL BALDRICH, J. M. (1998). *Traza y modelo en el Renacimiento Universidad de Sevilla*. Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción. Sevilla.

GENTIL BALDRICH. J.M. (1990). Método y aplicación de representación acotada. Sevilla.

GENTIL BALDRICH, J.M., DONAIRE, A (1982). *Representación de la Arquitectura: Aproximación a su Estructura y Génesis como Lenguaje*. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Sevilla.

GOITIA, A. (2010): "Restituir, redibujar, aventurar. Estrategias para documentar tres puertas monumentales de Madrid". *Revista EGA*, 15, pp. 74-83.

GONZÁLEZ GARCÍA, A. (2002): "Modelo Integral del proyecto: mitos, realidades, experiencias. Reflexiones Sobre el uso del Edificio Virtual en la elaboración y representación de proyectos de arquitectura". *Libro de actas del IX Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica*, EGA 2002, pp.251-253. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

HASSAN, R. (2013): "Virtual Reality as a multidisciplinary communication tool". "Realidad Virtual como herramienta de comunicación multidisciplinar". *International Conference Structures and Architecture*. Guimarães, Portugal. Disponible en: http://www.academia.edu/4295191/Virtual_Reality_as_a_multidisciplinary_communication_tool

JIMÉNEZ MARTÍN, A., PINTO, F. (2003): *Levantamiento y análisis de edificios. Tradición y Futuro*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. IUCC. Sevilla.

JIMÉNEZ MARTÍN, A. (1983): "Dibujos de Arquitectura Sevillana I. El Cenador de la Alcoba". *Revista de Arte Sevillano*. nº 2. Sevilla, pp. 51-66.

LAMOLDA, F. et al. (2008): "Registro mediante la utilización de escáner 3D del estado previo a la intervención de la fuente de los leones". En Taller en el *IX Congreso Internacional de Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación*. Sevilla.

LAURENZA, D. (2006): Atlas ilustrado de las máquinas de Leonardo: secretos e invenciones en los Códices da Vinci. M. Taddei, & E. Zanon (Eds.). Susaeta Ediciones.

LAURENZA, D., TADDEI, M., ZANON, E. (2002): *Las Maquinas De Leonardo*, Susaeta Ediciones.

LERMA, J.L., CABRELLES, M., SEGUÍ, A., NAVARRO, S. (2011): "Aplicación de la fotogrametría terrestre al levantamiento de alzados de edificios singulares". *Revista PH*, nº77. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, pp. 127-129.

LÓPEZ-MENCHERO, V, GRANDE, A. (2011): "Hacia una Carta Internacional de Arqueología Virtual. El Borrador SEAV". *Virtual Archaeology Review VAR*, Vol. 2, nº 4, pp. 71-75. Disponible en: http://varjournal.es/doc/varj02_004_21.pdf

MAÑANA, P., RODRÍGUEZ, A., BLANCO, R. (2008): "Una experiencia en la aplicación del láser escáner a los procesos de documentación y análisis del Patrimonio Construido: su aplicación a Santa Eulalia de Bóveda (Lugo) y San Fiz de Solovio (Santiago de Compostela)". *Arqueología de la Arquitectura*, Vol. 5. Madrid / Vitoria, pp. 15-32. Disponible en: http://digital.csic.es/bitstream/10261/15849/3/84.pdf

MONTILLA, I., VALLEJO, A. (2012): Madinat Al-Zahra. "La Ciudad Brillante. La investigación como difusión". *Virtual Archaeology Review VAR*, Vol. 3, Nº 6, p.p. 7-11. Disponible en: http://varjournal.es/doc/varj03_006_01.pdf

PINTO, F., GUERRERO, J.M., CASTELLANO, M., PASTOR, F. Y ANGULO, R. (2011): "Construcción de una base gráfica activa para el conjunto arqueológico de Itálica".

Revista PH, nº77. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, pp. 116-119. Disponible en: http://www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/3115/3115#.UvtYWvl5NMg

PRINCIPIOS INTERNACIONALES DE LA ARQUEOLOGÍA VIRTUAL (2012). Los Principios de Sevilla. Borrador Final / INTERNATIONAL PRINCIPLES OF VIRTUAL ARCHAEOLOGY. Final Draft. The Seville Principles. Forum Internacional de Arqueología Virtual / International Forum of Virtual Archaeology. Disponible en:http://www.arqueologiavirtual.com/carta/wp-content/uploads/2012/03/BORRADOR-FINAL-FINAL-DRAFT.pdf

RUIZ TORRES, D. (2011): "Realidad Aumentada, Educación y Museos". *Revista Icono,* nº 14, Vol. 2, pp. 212-226. Disponible en: dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3734470.pdf

SAN JOSÉ, J. (2011): "La réplica en el contexto de la gestión del patrimonio inmueble. Tres capillas sixtinas". *Revista EGA*, nº 17, pp.104-113. Disponible en: http://polipapers.upv.es/index.php/EGA/article/view/887/955

ULLRICH, A., PFENNIGBAUER, M. (2011). Echo digitization and Waveform Analysis in airborne and terrestrial laser scanning. Horn, Austria. Disponible en: http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo11/220Ullrich.pdf

12.3. Específica de los Modelos de Información para La Construcción

BAEZA, P. J. y SALAZAR L.G. (2005): "Integración de proyectos utilizando el modelo integrado de información para la construcción". *Redalyc.org*, Vol. 9, nº 3, pp. 67-75. Universidad Autónoma de Yucatán, México. Disponible en: http://www.redalyc.org/pdf/467/46790307.pdf

COLOMA PICÓ, E. (2008): *Introducción a la Tecnología BIM*. Departament: Expressió Gràfica Arquitectònica I. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Barcelona. Disponible en: http://www.practicaintegrada.com/storage/tecnologiabim/

CORNICK, T. (1996): Computer Integrated Building Design. E & FN Spon.

EASTMAN, C., TEICHOLZ, P., SACKS, R., LISTON, K. (2008): BIM Handbook: Una guía para Building Information Modeling para los propietarios, gerentes, diseñadores, ingenieros y contratistas. John Wiley & Sons, Inc. Nueva Jersey.

EASTMAN, TEICHOLZ, SACKS and LISTON (2008): "Managing BIM Technology in the Building Industry". Boletín de la *AEC*.

FINK, T. (2004): *Structural analysis, design and detailing using standard CAD software and standard Building Information Model*. The German Chapter of the IAI (Industry Alliance for Operability). Disponible en: http://e-pub.uni-weimar.de/volltexte/2004/280/pdf/icccbe-x_164.pdf.

FRAUSTO-ROBLEDO, A., EVANS, P. (2010): *Architosh 2010 BIM ISV Report*. LEED AP, AIA. Architosh LLC.

GONÇALVES, R., STEIGER-GARÇÃO, A., SCHERER, R.J. (2000): *Product and Process Modelling in Building and Construction*. Balkema. Rotterdam.

GOODCHILD, M, EGENHOFER, M, FEGEAS, R. (1997): *Interoperating GISs: Report of a specialist meeting held under the auspices of the varenius project*. Disponible en: http://www.ncgia.ucsb.edu/Publications/Varenius_Reports/Interop.pdf

GORDON, D. (2003): *What is Interoperability and why does it matter*. MapInfo Magazine, Vol. 7, nº4. Disponible en: http://resource.mapinfo.com/static/files/document/1074288321775/mapinfomag_summer2003.pdf

GRAPHISOFT España (2010): *Diseño Compartido con BIM*. Graphisoft. Madrid.

GRAPHISOFT España (2010): *La próxima evolución BIM: Colaboración abierta en todas las áreas con ArchiCAD BIM*. Disponible en: http://www.graphisoft.com/products/archicad/ (visitada el 14-07-2010).

HOLNESS, GORDON V. R. (2008): "Building Information Modeling Gaining Momentum". *ASHRAE Journal*, pp. 28-40. Disponible en: http://www.ifcwiki.org: Formatos IFC (visitada el 6-07-2010).

IBRAHIM, MAGDY, M., KRAWCZYK, ROBERT, J., SCHIPPORIET, GEORGE, (2004): *Architectural information to the construction site based on the BIM object concept*. CAADRIA 2004 Conference. College of Architecture, Illinois Institute of Technology. Seoul, South Korea. Disponible en: http://www.iit.edu/~krawczyk/miccad04.pdf.

IBRAHIM, MAGDY, M., KRAWCZYK, ROBERT, J. (2003): *The Level of Knowledge of CAD Objects within the Building Information Model*. Association for Computer-Aided Design in Architecture. ACADIA 2003 Conference. Muncie, Indiana. Disponible en: http://www.iit.edu/~krawczyk/miacad03.pdf.

IBRAHIM, MAGDY, KRAWCZYK, ROBERT, SCHIPPOREIT, GEORGE (2004b): *Two Approaches to BIM: A Comparative Study*. College of Architecture, Illinois Institute of Technology. eCAADe Conference. Copenhagen, Denmark. Disponible en: http://www.iit.edu/~krawczyk/miecad04.pdf.

JERNIGAN, F. (2007): *BIG BIM little bim*. AIA.

JONES, S. A. (2008): *Construction SmartMarket Report on BIM*. McGraw-Hill. New York.

KRYGIEL, E., NIES, B. (2008): Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling. FAIA, BNIM.

KYMMELL, W. (2008): Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations.

LAISERIN, J. (2008): *Comparing Pommes and Naranjas.* Disponible en: http://www.laiserin.com/features/issue15/feature01.php

LÓPEZ, L., J.C. TORRES, G. ARROYO (2013): *Measuring Surface Roughness on Cultural Heritage 3D models.* CEIG - Spanish Computer Graphics Conference.

MITCHELL, W. J. (1995): City of bits: Space, Place and the Infobahn, MIT Press, Mass.

MITCHELL, W. J. (1978): *Computer Aided Architectural Design*. Van Nostrand Reinhold Company.

MITCHELL, W. J. , McCULLOUGH, M. (1994): *Digital Design Media.*: John Wiley & Sons.

MITCHELL, J., H. SCHEVERS (2005): *Building Information Modelling for FM at Sydney Opera House*. CRC Construction Innovation.

MARTINEZ, J.L. (2013): "BIM… Luces y sombras, dos años después". *Libro de Actas del 1º Congreso nacional BIM - EUBIM 2013*, Valencia, pp. 43-54. Disponible: http://riunet.upv.es/handle/10251/29127

MONTERO, J., GALLETERO, P., NEUMEISTER, C., DÍAZ, F., (2002): "Optimization Of Rigid Frame Bays Using Harp Bracings". Proceedings of the 2002 American Society of Agricultural Engineering. Annual Meeting, Paper number 024027.

NAVARRO, P., CABANES, J.L. (2009): Edición avanzada de fotomodelos de edificios. *Revista EGA*, nº 14, pp. 68-73.

NIETO JULIAN, E., MARÍN, D., RICO, F., MOYANO, J.J (2012): "La interoperabilidad del modelo virtual de información". *Libro de Actas del XI Congreso internacional de Expresión Gráfica Aplicada a la Edificación,* Valencia, pp. 743-750. Disponible en: http://riunet.upv.es/handle/10251/19180

NIETO JULIAN, E., MOYANO, J.J., RICO, F., ANTÓN, D. (2013): "La necesidad de un modelo de información aplicado al patrimonio arquitectónico". *Libro de Actas del 1º Congreso nacional BIM - EUBIM 2013*, Valencia, pp. 21-32. Disponible en: http://riunet.upv.es/handle/10251/29127

PINTO, F., GUERRERO, J.M., CASTELLANO, M., PASTOR, F. y ANGULO, R. (2010). "Aplicación de los Sistemas BIM a la Gestión de Conjuntos Arqueológicos: Itálica. *I Congreso Nacional de Investigación Aplicada a la Gestión de Edificación*, nº 1. Alicante. Publicaciones de la Universidad de Alicante, pp. 116-133.

PIQUER CASES, J.C., DE SOTO ARÁNDIGA, C. (2008):"Los modelos digitales en la investigación del patrimonio desaparecido. Reconstrucción virtual del Palacio Real de Valencia (1239-1810) según los planos de Manuel Cavallero de 1802". *Actas del XII Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica*, ECA 2008, Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica, Politécnica de Valencia, pp. 653-657.

TOCA, A. (2010): "La revolución que viene en software". Diario CNN Expansión. Edición 13/09/2010. Disponible en: http://www.cnnexpansion.com/obras/2010/09/13/antonio-toca-computer-aided-design-cad

VILLANUEVA, L. (1996): *Perspectiva lineal. Su relación con la fotografía*. Ediciones UPC. Barcelona.

VILLETA, J. (1999): Desarrollo de proyectos usando CAD. INTEX.

VON WODTKE, M. (2001): *Diseño con Herramientas Digitales.* McGraw-Hill, México.

VARKONYI, V (2010): La próxima evolución BIM: Colaboración abierta en todas las áreas. Graphisoft.

VALE, J.M. Y RODRÍGUEZ, A. (2011): "Características básicas de los modelos tridimensionales de elementos históricos". *Revista PH,* nº 77. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, pp.145-148. Disponible en: http://www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/3123/3123#.Uvta4Pl5NMg

WILLIAM, A et al. (2002): A Spectrum of Interoperability: The Site for Science. Prototype for the NSDL. D-Lib Magazine, 8(1), enero 2012.
Disponible en: http://www.dlib.org/dlib/january02/arms/01arms.html

ZARZYCKI, A. (2012): "Parametric BIM as a generative design tool". BIM paramétrico como herramienta de diseño generativo. *ACSA 2012*. Annual Conference Proceedings. Disponible en:

http://www.academia.edu/4471510/Parametric_BIM_as_a_generative_design_tool

ZARZYCKI, A. (2012): "Component-based Design Approach Using BIM". Enfoque de diseño basado en componentes utilizando BIM. *eCAADe Preceedings Conferencia*. Institute of Tecnología, New Jersey. Disponible en:

http://www.academia.edu/4471552/Component-based_Design_Approach_Using_BIM

12.4. Específica de los Sistemas de Información

AGNELLO, F. et al. (2003): "Cultural Heritage and Information Systems, an Investigation into a Dedicated Hypertext". *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,* 34, 5.

ANGULO, R. (2012). "Construcción de la base gráfica para un sistema de información y gestión del patrimonio arquitectónico: Casa de Hylas". *Arqueología de La Arquitectura*, Vol.9, pp. 11-25. CSIC. Madrid/Vitoria. Disponible en:
http://arqarqt.revistas.csic.es/index.php/arqarqt/article/view/138/132

BOLSTAD, P. (2005): *GIS Fundamentals: A first text on Geographic Information Systems,* Second Edition. White Bear Lake, MN: Eider Press, pp. 543.

BOSQUE SENDRA, J. (1992): *Sistemas de Información Geográfica*. Rialp. Madrid.

BURROUGH, P.A., McDONNELL, R.A. (1998): *Principles of geographical information systems*. Oxford University Press. Oxford, 327pp.

BUZAI, G.D., BAXENDALE, C.A. (2011): *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*. Tomo 1: Perspectiva Científica / temáticas de base ráster. Buenos Aires, Lugar Editorial, 302 pp.

BUZAI, G.D.; BAXENDALE, C.A. (2012): *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*. Tomo 2: Ordenamiento territorial / temáticas de base vectorial. Buenos Aires, Lugar Editorial, 315 pp.

CALVO, M. (2012): Geo-conceptualización y modelado del espacio geográfico. EAE. Saarbrücken, 492 pp.

CALVO, M. (1992): Sistemas de Información Geográfica Digitales: Sistemas geomáticos. IVAP-EUSKOIKER, Oñati, 616 pp.

CHANG, K. (2007): Introduction to Geographic Information System, 4th Edition. McGraw Hill.

CIGNONI, P. et al. (2008): "Meshlab: An Open-Source Mesh Processing Tool". *Sixth Eurographics Italian Chapter Conference*, pp. 129-136.

ELANGOVAN, K (2006): "GIS: Fundamentals, Applications and Implementations". New India Publishing Agency. New Delhi, 208 pp.

FEITO HIGUERUELA, FRANCISCO R. Y SEGURA SÁNCHEZ, RAFAEL J. (2010): "Herramientas SIG 3D", Departamento de Informática Universidad de Jaén. *Revista VAR, Virtual Archaeology Review*, abril 2010, pp. 87-91. Disponible en: http://varjournal.es/doc/varj01_001_10.pdf

FERNÁNDEZ LOPEZ DE PABLO, J. (2008): "gvSIG y Arqueología de Gestión: hacia un nuevo concepto de uso de los SIG y de las IDE en el conocimiento y protección del patrimonio arqueológico". *4ª jornadas gvSIG*, 3-5 Diciembre 2008, Valencia.

FERNÁNDEZ MARTÍN, J.J., et al. (2007): "Modelos ampliados digitales para planificación y gestión de intervenciones sobre edificios y entornos urbanos complejos". *ACE©,* Vol.2, nº 4. Disponible: https://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/3144/1/8-fernandez.pdf

FERNÁNDEZ MARTÍN, J.J.; SAN JOSÉ ALONSO, J. (2001): "Metamorfosis Fotogramétrica". *Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica EGA*, 6, pp. 88-94. Valencia.

FERNÁNDEZ MARTÍN, J.J, SAN JOSÉ ALONSO, J. (2000): "El sistema de información del patrimonio SIP. Apuntes sobre la gestión y el soporte de datos". *Actas del VIII Congreso de Expresión Gráfica Arquitectónica*, pp. 311-316.

HARVEY, F. (2008): A Primer of GIS, Fundamental geographic and cartographic concepts. The Guilford Press, 31 pp.

HEYWOOD, I., CORNELIUS, S., CARVER, S. (2006): *An Introduction to Geographical Information Systems*. Prentice Hall. 3rd edition.

HODAČ, J. (2005): "3D Information System of Historical Site. Proposal and Realisation of a Functional Prototype". *Acta Polytechnica 45*, 1.

IOANNIDIS, C. et al. (2003): "An Integrated Spatial Information System for the Development of the Archaeological Site of Mycenae". *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 34*, 5.

LONGLEY, P.A., GOODCHILD, M.F., MAGUIRE, D.J., RHIND, D.W. (2005): *Geographic Information Systems and Science*. Chichester: Wiley. 2nd edition.

LUZÓN, Mª.V., MARTÍN, D., G. ARROYO, J. R. LÓPEZ, J. HERCE, R. IZQUIERDO, Á. JIMÉNEZ, J. B. MARTÍNEZ, M. PÉREZ, F. LAMOLDA, E. CORREA, R. RUBIO (2011): "Requisitos de un Sistema de Información para Gestión de Patrimonio". *Arqueológica 2.0. Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica*. Sevilla. Disponible en: http://lrv.ugr.es/chis/userfiles/downloads/113-122.pdf

MAGUIRE, D.J., GOODCHILD M.F., RHIND D.W. (1997): *Geographic Information Systems: principles, and applications.* Longman Scientific and Technical. Harlow.

MEYER, E. et al. (2006): "Intrasite Level Cultural Heritage Documentation: Combination of Survey, Modeling and Imagery Data in a Web Information System". *7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage.*

MEYER, E. et al. (2007): "A Web Information System for the Management and the Dissemination of Cultural Heritage Data". *Journal of Cultural Heritage 8*, pp. 396–411.

MORENO, A., GÓMEZ, N., VIDAL, M. J., RODRÍGUEZ, J. A., MARTÍNEZ, P., PRIETO, M. E., CERVERA, B., FERNÁNDEZ, F. (2008): *Sistemas y análisis de la información geográfica: manual de auto-aprendizaje con ArcGIS*. Ra-Ma, 2ª ed. Madrid, 940 pp.

NAGLIČ, K. (2003): "Cultural Heritage Information System in the Republic of Slovenia". ARIADNE 5 Workshop on Documentation, Interpretation, Presentation and Publication of Cultural Heritage. Prague.

OLAYA, V., (2012): *Sistemas de Información Geográfica*. Víctor Olaya, 877 pp. (Creative Common Atribución).

SOLER, F., J.C. TORRES, A. J. LEÓN Y M. V. LUZÓN (2012): *Design of a cultural heritage information system*. CEIG - Spanish Computer Graphics Conference. Disponible en: http://lrv.ugr.es/chis/userfiles/downloads/113-122.pdf

SUTHERLAND, I.E. (2003): "Sketchpad: A man-machine graphical communication system". Un sistema de comunicación gráfica hombre-máquina. *Informe Técnico. Nº 574. Laboratorio de Informática*. UCAM-CL-TR-574. Disponible en: http://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-574.pdf

TOMLIN, C. Dana (1991): Geographic Information Systems and Cartographic Modelling. Prentice Hall. New Jersey.

TOMLINSON, R.F.,(2005): Thinking About GIS: Geographic Information System Planning for Managers. ESRI Press, 328 pp.

TORRES, J.C., L. LÓPEZ, C. ROMO, and SOLER, F. (2012): *An Information System to Analize Cultural Heritage Information*. M. Loannides et al. (Eds.): EuroMed 2012, LNCS 7616, pp. 809–816, 2012. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

TORRES, J.C., G. ARROYO, C. ROMO, J. DE HARO (2012): *3D Digitization using Structure from Motion*. CEIG - Spanish Computer Graphics Conference (2012) Isabel Navazo and Gustavo Patow (Editors)

TORRES, J.C., SOLER, F., CANO, P., LEON, A., LUZON, V., MARTIN, D. (2012): "Sistema de Información para Patrimonio Histórico". Laboratorio de Realidad Virtual de la Universidad de Granada. Granada. *Virtual Archaeology Review . VAR*, pp. 53-57. Disponible en: http://varjournal.es/doc/varj03_005_10.pdf

TORRES, J.C. et al. (2009): "Aplicaciones de la Digitalización 3D del Patrimonio". *Virtual Archaeology Review VAR,* Vol. 1 (1), pp. 45-48.

TORRES, J.C. et al. (2007): "Generación automatizada de modelado 3D para difusión y documentación del patrimonio histórico". *I Simposium de Informática Gráfica e Patrimonio Histórico*, pp. 111–120. La Coruña.

WHEATLEY, D., GILLINGS, M. (2002): Spatial Technology and Archaeology. The Archaeological Application of GIS. Taylor & Francis. London, New York.

WISE, S. (2002): *GIS Basics*. Taylor & Francis. London.

WORBOYS, M., DUCKHAM, M. (2004): *GIS: a computing perspective*. Boca Ratón: CRC Press.

12.5. Bibliografía específica de Termografía

BALARAS, C. y ARGIRIOU, A. (2002): Infrared thermography for building diagnosties. Energy and Buildings, vol. 34, pp. 171-183.

DE LA PUENTE CRESPO, J. y RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, F.J. (2004): "Inspección termográfica de fachadas de edificios. Comentarios a la norma europea EN 13187". Libro de actas del Congreso Ibérico de aislamiento térmico y acústico: CIATEA, pp. 206-214.

E. GRINZATO, P.G. BISON, S. MARINETTI, V. VAVILOV (1994): Non-Destructive Evaluation in Fresco Plaster Using Transient Infrared Thermography, Research in Nondestructive Evaluation, Vol. 5 n° 4, ASNT, Columbus OH.

GIANCOLI, D., AMADOR, M.D., ROBLEDO, V. y ÁBREGO, F. (2009): "Física para ciencias e ingeniería". 4ª edición, Pearson Prentice Hall, México.

LEZANA GARCÍA, Á. (2011): "La termografía infrarroja aplicada a la construcción", Ecoconstrucción. Boletín electrónico, Vol. Nº 29, pág. 109.

LEZANA GARCÍA, Á. (2011): "La termografía infrarroja aplicada a la edificación", Ingeniería del mantenimiento en Canarias, Vol. Nº 3, pp. 58-62.

MALDAGUE, X. (2001): Infrared and Thermal testing: Nondestructive testing handbook. 3th ed, Columbus, OH: Patrick O. Moore.

MOBLEY, R. Keith. (2002): "Plant Engineering: An Introduction to Predictive Maintenance". (2nd Edition), Butterworth-Heinemann, Burlington, MA, USA.

MOROPOULOU, A., AVDOIDIS, N.P., KOUI M. (2000): Compatibility assessment of building materials using Infrared Thermography. Proceedings of 15th World Conference on Nondestructive Testing. Roma.

BAGGIO, P., BISON, P.G., BONACINA, C., BRESSAN, C., GRINZATO, E., MARINETTI, S., MAZZOLDI, A. (1994): Proprietà termofisiche dei materiali da costruzione, La Termotecnica, Gennaio, pp. 73–78 (Tratto dal 48° congresso ATI pp. 551-561).

PITA, E.G. (2002): Acondicionamiento de aire: principios y sistemas: un enfoque energético. 7ª reimpresión. Compañía Editorial Continental, México. 1994.

RODRÍGUEZ PEDRAZ, D., SABATER GONZÁLEZ, J.V. (2010): "La Termografía Infrarroja en el Patrimonio Histórico". Instituto Tecnológico de la Construcción - AIDICO, España. http://www.todopatrimonio.com/pdf/cicop2010/121_Actas_Cicop2010.pdf

12.6. Tesis Doctorales y Trabajos de Posgrado

ANTÓN GARCÍA, D. (2013): Patrones límite de pérdida energética en fachadas de cerramiento frío que establezcan necesidades de intervención mediante termografía infrarroja. Máster Universitario en Gestión Integral de la Edificación. Universidad de Sevilla.

BARRERA VERA, J.A. (2006): Aplicación de tecnologías innovadoras en la documentación geométrica del Patrimonio Arquitectónico y Arqueológico. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla.

COLOMA PICÓ, E. (2012): *Tecnologia bim per al Disseny arquitectònic*. Tesis doctoral llegide en el Programa de Doctorat en Comunicació Visual en Arquitectura i Disseny. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Disponible en:

http://www.practicaintegrada.com/storage/tecnologiabim/TecnologiaBIM.pdf

GAYO MONCÓ, E.: (1995): La humedad como causa de patologías en monumentos: desarrollo de nuevas técnicas de análisis no destructivo basadas en termografía infrarroja. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Físicas.

NIETO JULIÁN, E. (2010): Generación de modelos de información para la gestión de una intervención de rehabilitación: La cárcel de la Real Fábrica de Tabacos de Sevilla. Máster en Arquitectura y Patrimonio Histórico. Universidad de Sevilla.

RICO DELGADO, F. (2009): Modelo de diagnóstico por imágenes en edificación mediante la aplicación de tecnologías avanzadas. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla.

RODRÍGUEZ MORENO, C. (2011): El Palacio de Pedro I en Los Reales Alcázares de Sevilla. Estudio y Análisis. Tesis doctoral europea. Universidad de Granada.

QUIÑONES RODRÍGUEZ, R. (2009): *Modelo Integrado de Información del Edificio*. Máster en Seguridad Integral en Edificación. Universidad de Sevilla.

12.7. Links a páginas Web con información referenciada

http://www.alcazarsevilla.org/?page_id=17. Web del Alcázar. Página consulta el 07/05/2013.

http://www.arqueologiavirtual.com/seav/
Web de la Sociedad Española de Arqueología Virtual, SEAV. Última consulta el 31/07/2013.

http://www.arcgis.com. Última consulta el 01/10/2013.

http://es.artlantis.com/. Última consulta: 03/02/2014

http://www.artec3d.com/es/3d_scanners_for_professionals/artec-eva/. Web de la empresa Artec Group que desarrolla y manufactura soluciones y productos innovadores, como los scanners 3D portátiles.

http://www.arch.gatech.edu/research/overview. Web de School of Architectura. Georgia Tech. EE.UU.

http://extended.asuni.es/. Web de asuni. Página consulta el 18/10/2010.

http://eubim2013.upv.es/. Web del 1º Congreso Nacional BIM, EUBIM 2013. Última consulta el 04/02/2014.

http://www.eubim.com/eubim.html. Web del 1º Congreso Nacional BIM, EUBIM 2013. Página consultada el 04/02/2014.

http://www.dibac.com/descrip.php. Página consulta el 18/10/2010

http://www.iscarnet.com/sketchup/. Web de íscar. Página consulta el 18/10/2010.

http://www.autodesk.es/. Web de Autodesk. Última visitada el 30/01/2014.

http://www.autodesk.es/adsk/servlet/download/item?siteID=455755&id=15140560. Información de AutoCAD Architecture. Página consultada el 19/10/2010.

http://www.autodesk.es/products/autodesk-3ds-max-design/overview. Página consultada el 19/10/2010.

http://www.autodesk.es/adsk/servlet/index?siteID=455755&id=10200355&DCMP=DMC-BIM_ES_DM. Autodesk.2013. La potencia de BIM. Consultada el1/06/2013.

http://wikihelp.autodesk.com/Revit/esp/2014/Help/0001-dchedgcd1/0116-dcheehjh116/0121-dchefaah121/0156-dchegfde156. Ayuda de Autodesk Revit 2014. Uso de archivos de nube de puntos en un proyecto. Consultada el 28/09/2013.

http://www.buildingsmart.es/index.php/building-smart-spanish-chapter
Web de Building Smart. La interoperabilidad y la colaboración del BIM. Consultada el 19/06/2013.
http://www.cadimage.com/pointclouds
Web de Cadimage. Desarrollador y distribuidor de Add-Ons para Archicad. Consultada el 25/09/2013.

http://www-cpsv.upc.es/tesis/PT11_ASanchez.pdf. Proyecto de Tesis de Alberto Sánchez Riera. UPC, CAI. Programa de Doctorado en Gestión y Valoración urbana. Curso académico 2010-20011.

http://www.graphisoft.es/producto/ac/design.html.
Web de la empresa Graphisoft, compañía suministradora de tecnología de la información para el mercado de la arquitectura y la construcción. Consultada el 16/04/2013.
http://www.icomos.org/index.php/en/about-icomos/mission-and-vision/mission-and-vision
Web del Consejo Internacional de Monumentos y Sitios ICOMOS. Última consulta: 31/07/2013.

http://www.nemetschek-allplan.es/software/bim/building-information-modeling.html. Building Information Modeling con Allplan. Consultada el1/06/2013.

www.autodesk.com/recaphelp. Información sobre Autodesk ReCap. Última Consulta el 28/09/2013.

http://www.graphisoft.com/info/news/press_releases/sales.html. ArchiCAD 6.0. San Francisco / Budapest (19 de octubre 1998). Consultada el1/06/2013.

http://www.graphisoft.com/info/news/press_releases/ac65.html. New Modeling, documentación, colaboración y características de personalización Highlight Upgrade. Budapest, 18 de octubre 1999. Consultada el 1/06/2013.

http://www.graphisoft.es/producto/archicad/ac12/vb/. El concepto de diseño en ArchiCAD 12. Consultada el 1/06/2013.

http://www.cnnexpansion.com/obras/2010/09/13/antonio-toca-computer-aided-design-cad. La revolución que viene en software. Antonio Toca. CNN Expansión. Página consultada el 1/06/2013.

http://www.graphisoft.es/producto/ac/ac15/renovation.html. Soporte a la Rehabilitación y Reformas. Página consultada el 4/06/2013.

file:///C:/Program%20Files/Graphisoft/ArchiCAD%2016/Ayuda/Files/wwhelp/wwhimpl/js/html/wwhelp.htm#href=05_Collaboration.08.001.html#1001407. Ayuda de ArchiCAD: Colaboración y Guía de Cálculo.

http://www.laiserin.com/features/bim/. Web de The Laiserin Letter. La Página BIM. Página consultada el 04/02/2014.

http://www.leica-geosystems.com/en/Archaeology-Heritage_1708.htm. Web de Leica geosystems.

http://www.maxon.net/es/customer-stories/architecture.html. Web de Maxon. Última consulta: 03/02/2014

http://www.revistadepatrimonio.es/revistas/numero8/difusion/estudios2/articulo4.php#popup06b. Web de la revista electrónica de patrimonio histórico. Página consulta el 15/02/2014.

http://www.es.rhino3d.com/. Web de Rinoceros. Última consulta: 03/02/2014

http://sabia.tic.udc.es/gc/Contenidos%20adicionales/trabajos/3D/Fotogametria/index_file/Page470.htm. Web de Fotogrametría. Trabajo de GC. Consultada el 09/02/2014

http://www.solibri.com/. Web de Solibri. Última consulta: 04/02/2014

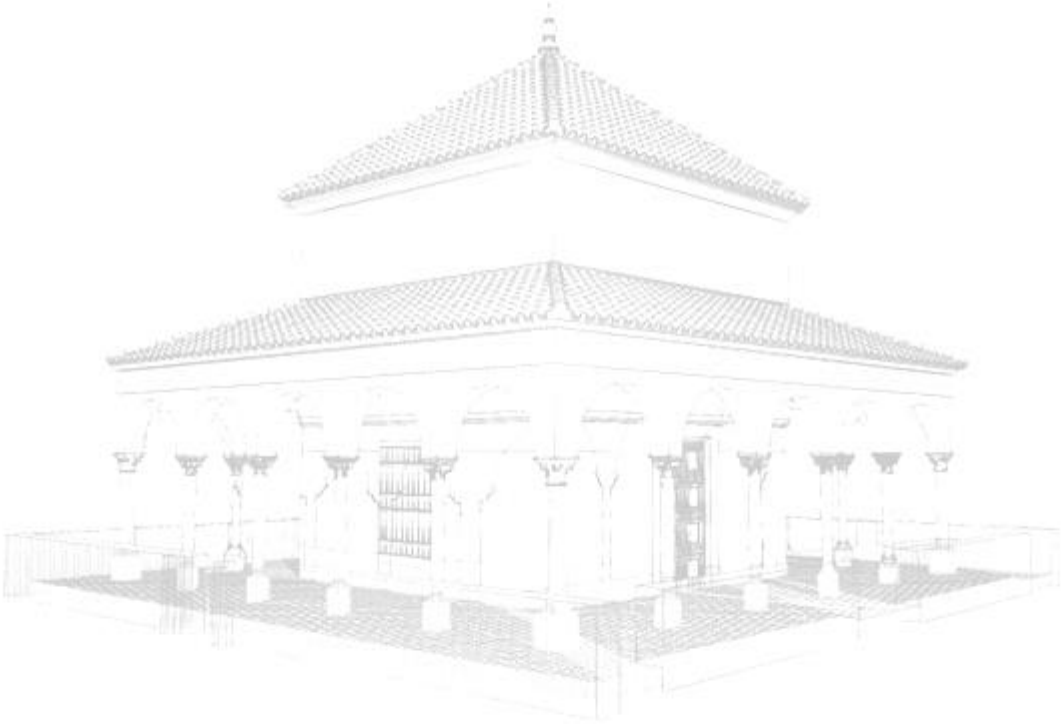
http://www.vatican.va/various/cappelle/index_sistina_it.htm. Web del vaticano. Página consulta el 14/02/2014.

http://www.vectorworks.net/index.php. Web de Vectorworks Nemetschek. Última consulta: 04/02/2014

http://vcg.isti.cnr.it/. Web de Visual Computing Lab (VLC). Consignataria del software MesLab.

Capítulo 13

TERMINOLOGÍAS



13.TERMINOLOGÍAS

Aberración: Distorsión que puede provocar el objetivo en la imagen que comporta una diferencia entre el motivo y su representación.

Abertura: Es el diámetro de la abertura física del diafragma mediante el cual se regula la cantidad de luz que incide en el CCD o la película.

ACIS: Componente de software que provee una "engine solid modeling" (motor de modelado sólido), también llamado "kernal" usado por muchos fabricantes de software CAD/CAM/CAE. Crea modelos en el formato SAT.

AF (Autofocus): Sensor que permite enfocar de forma automática.

AIA: Acrónimo de American Institute of Architects. Organización de arquitectos estadounidense. Promueve la mejora de la práctica de sus miembros y el aumento de la dignidad de la profesión.

Análisis: Examen de las partes y las propiedades de un objeto en relación a un determinado criterio.

Analógico: Opuesto a digital. Relativo a los datos formados por cantidades variables de forma continua, no unidades discretas (por ejemplo, los colores de un arco iris, que no son claramente separables uno de otro).

Anastilosis virtual: recomposición de las partes existentes pero desmembradas en un modelo virtual.

Anidar: Incrustar un objeto dentro de otro, de tal manera que el comportamiento del primer esté sometido al del segundo.

Anotación: Objeto que muestra información alfanumérica en una vista gráfica.

Anti-aliasing: Técnica de interpolación que permite una resolución mejorada de los bordes para evitar la pixelación o dientes de sierra.

API: Sirve como una interfaz del software a ser usada por otros programas. Serie de funciones que los programas usan para hacer que el sistema haga el trabajo tedioso sin necesidad de generar nuevo código.

Aplicación BIM: Software diseñado para la creación y edición de un modelo de Información paramétrico, multidisciplinar y multivista.

Arqueología Virtual: es la disciplina científica que tiene por objeto la investigación y el desarrollo de formas de aplicación de la visualización asistida por ordenador a la gestión integral del patrimonio arqueológico.

Atributo: Información adjuntada a un objeto que no está vinculada con ningún otro .

Autofocus: Ver AF.

Base de datos relacional: Conjunto de tablas de valores relacionadas entre sí de modo que los valores de una tabla están anidados por vínculos lógicos entre ellos. El tamaño de cada tabla es menor puesto que los atributos de cada elemento pueden organizarse en tablas vinculadas unas a otras.

B-curve o Bézier: Curva continua controlada por tres o más puntos de control. La curva de Bézier siempre pasa por el primer y último punto de control. La superficie de Bézier es una extensión de la curva de Bézier. Su nombre se debe a su inventor, Pierre Bézier, diseñador de sistemas CAD en Francia.

BEM: Acrónimo de Building Elemento Modelo. Se usa para referirse a los objetos BIM susceptibles de ser utilizados en diferentes modelos de información.

Biblioteca (de ArchiCAD o Familia (en Revit): Conjunto de objetos de una misma categoría definidos por los mismos parámetros: Puertas, Ventanas, Claraboyas, Objetos de mobiliario, Texturas, etc.

BIM: Acrónimo de Building Information Model o Building Information Modelling y que, por tanto, puede traducirse como sustantivo o verbo. Se refiere a un modelo de Información paramétrico, multidisciplinar y multivista o a la acción de crearlo. En este escrito también se emplea como adjetivo en los términos "Modelo BIM", "Proceso BIM, "Sistema BIM" o "Tecnología BIM", para diferenciar el modelo en sí, el proceso de su creación o la tecnología orientada en esa dirección .

Bit: Unidad mínima de información en los códigos digitales binarios.

Bitmap: Imagen de mapa de bits. Información gráfica tipo ráster representativa de una imagen. Cada bit representa un pixel en la pantalla o impresora.

Boundary Edge: Lado de un polígono no compartido por otro polígono.

Boundary: Contorno aparente. Bordes de un modelo.

Box: Caja. Término empleado en informática para designar un prisma recto rectangular.

Bps: Número de bits transferidos en un segundo. Las letras "bps" se suelen encontrar en modems e interfaces en serie.

Bspline: Cuva polinómica construida conectando polinomios de un determinado grado. Los polinomios se obtienen por combinación de n puntos de control, utilizando una base de funciones de forma, cuyo orden es independiente del número de puntos de control. Su principal ventaja es la posibilidad de ajustar la zona de influencia de los puntos de control.

Bump Mapping: Técnica de simulación de la rugosidad real de un objeto representado en 3D mediante tratamiento del mapeado de textura. Los colores oscuros simulan hendiduras y los claros protuberancias.

Byte: Combinación de 8 bit. Es un método de codificación informático para representar un número o una letra.

CAAD: Acrónimo de computed Aided Architectural Design. Se trata de herramientas de CAD especializadas en la delineación de modelos arquitectónicos. Es, en cierto modo, el precursor de las herramientas BIM.

CAD BIM: Software de diseño que emplea Tecnología BIM.

CAD literal: Aplicación destinada a modelar representaciones literales de una idea o realidad. Estas representaciones pueden ser bidimensionales, tridimensionales o alfanuméricas. Las entidades que emplean pueden tener cierto grado de

parametrización, pero incluso cuando son tridimensionales no aspiran a cubrir todos los aspectos que definen lo que representan.

CAD paramétrico: Aplicación destinada a modelar representaciones paramétricas de una idea o realidad. Estas representaciones pueden ser bidimensionales a través del establecimiento de las características que la definen. Estas representaciones pueden ser bidimensionales, tridimensionales o alfanuméricas El modelo se modifica principalmente alterando el valor de los parámetros y son capaces de interactuar con otros objetos ya que establecen parámetros que relacionan características de unos objetos con otros.

CAD: Computer Aided Design. Diseño asistido por computadora u ordenador. Se trata de una base de datos de entidades geométricas vectoriales (puntos, líneas, arcos, splines, superficies, etc.) con la que se puede operar a través de una interfaz gráfica para obtener un modelo numérico de un objeto o conjunto de ellos.

CADD: Acrónimo de Computer Aided Design and Drafting. Se refiere a la acción de diseñar todo delineante con herramientas informáticas.

CADR: Computer Aided Drafting. Dibujo asistido por ordenador. Se emplea "DRafting" en lugar de "Design" para distinguir conceptualmente el empleo del ordenador para el diseño creativo, desde un punto de vista del proyecto de obra a construir, de su empleo para la representación de objetos existentes a partir de los datos dimensionales y geométricos obtenidos del original.

CAGR: Computer Aided Geometric Design. Es la base matemática de buena parte del CAD. Teoría que viene a dar cobertura matemática a la vertiente ejecutiva del diseño informatizado.

Cámara Pin-hole: Es una cámara imaginaria que aplicaría el sistema de representación cónico o de proyección central que en visión artificial y fotogrametría suele ser el modelo de proyección perspectiva denominado modelo pin-hole. Es el modelo de cámara que tradicionalmente se utiliza para pasar de coordenadas reales 3D a coordenadas 2D pertenecientes a la imagen captada. En dicho modelo todos los rayos provenientes de un cierto objeto atraviesan un fino agujero para impactar en el sensor imagen. Dado que las lentes no tienen este comportamiento lineal, el modelo pin-hole debe ser corregido con un valor de distorsión, es decir, debe ser complementado con parámetros que corrigen su comportamiento ideal y lo acercan, lo más posible, al comportamiento real del objetivo.

Canal Alfa: Es el canal indicador del nivel de transparencia. Normalmente, un píxel que aparece en pantalla tiene valores de rojo, verde y azul pero en modelado 3D se usa adicionalmente un valor alfa para cada píxel.

Categoría: Grupo de familias de elementos paramétricas de una misma especie. Por ejemplo, los muros y las ventanas son categorías diferentes.

CCD: Charge-Coupled Device. Es el dispositivo sustituto de la película en las cámaras digitales. Un chip electrónico encargado de captar la luz que recibe. Está compuesto de millones de pequeñas celdas dotadas de filtros rojos, verdes y azules.

CMM: Acrónimo de Coordinate Measuring Machine. Dispositivo medidor de coordenadas.

CMYK: Abreviatura de la serie "Cyan", "Magenta", "Yellow" y "Black" (cian, magenta, amarillo y negro). Este modelo de mezcla de colores sustractivos es utilizado por la impresora para crear impresiones en color.

Componente: Cada uno de los elementos que conforma un modelo arquitectónico .

Construcción Eficiente: Del término "Lean Construction". Básicamente, se trata de construir generando el mínimo de residuos posible en el sentido más amplio de la palabra, que incluye desde los materiales de rechazo a las tareas inútiles. Para conseguirlo, hay que planificar todos los procesos cuidadosamente. Con este objetivo, se consigue de forma natural un gran ahorro de tiempo y de recursos en general, al tiempo que se protege el medio ambiente. "Lean" en inglés significa delgado o económico.

Contorno: Conjunto de superficies y de condiciones de contacto entre ellas que definen un modelo, dividiendo el espacio en dos "mitades" (Half-Spaces), el modelo y el exterior del mismo.

Control Points: Puntos de apoyo para definir una curva o superficie NURBS.

Controlador (Driver): Pequeño programa que permite a un ordenador cumplir las necesidades específicas de un aparato adicional (por ejemplo, un ratón, una impresora o una cámara digital.

Delineación: Según el diccionario, trazar con líneas. Aquí se emplea en un sentido más amplio para referirse al hecho de representar literalmente.

Depth Cueing: Función para reducir el color y la intensidad de un objeto en función de la distancia al observador. Es una técnica que recibe el nombre de perspectiva aérea (en referencia al aire que "filtra" la visibilidad de los objetos).

Desarrollo parcelado: Sistema de trabajo colaborativo en el que cada participante interviene en un ámbito acotado en el espacio y el tiempo

Descarga: Proceso de copiado de la información de una fuente digital a otra.

Diafragma: Dispositivo que permite regular la cantidad de luz que incide en la película o CCD.

Digitalización: Conversión de datos analógicos en digitales. Se considera también el proceso de vectorización manual de una imagen ráster.

Discreto: Definir en base a un número finito de variables.

Distancia focal: Distancia del centro óptico con respecto al plano de la película o del CCD. A la capacidad de poderse modificar en un intervalo de valores se le llama Zoom.

Distorsión: Modificación no deseada de una señal electrónica.

Driver: Controlador.

DXF: Formato DXF (Drawing Interchange Format) es un formato vectorial que la empresa Autodesk lanzó para permitir el intercambio de archivos de dibujo entre los diferentes programas de CAD. Soporta 256 colores (8 bits).

Ejemplar: Entidad insertada en el modelo.

Esbozo: Del término anglosajón Sketch, se refiere al perfil lineal, normalmente bidimensional, que define el contorno de una primitiva para la generación de un objeto paramétrico, ya sea una familia de sistema o un sólido para la creación de una pieza de una familia de componente.

Escáner 3D: Dispositivo que permite, sin contacto, obtener y registrar las coordenadas tridimensionales de un número suficientemente elevado de puntos que permitan definir con la precisión adecuada la superficie de un objeto.

Familia (o **Biblioteca):** Conjunto de objetos de una misma categoría definidos por los mismos parámetros. Por ejemplo, un modelo determinado de puerta será una familia que contendrá todas las variaciones que se hayan creado para la familia (tipo), como diferentes medidas o acabados.

Familia alojada (en Revit): Familia destinada a ser insertada en un anfitrión. Cada familia alojada se crea según a qué categoría pertenecerá y cuál anfitrión soportará. Se guarda como un archivo individual para luego utilizarlo en cualquier proyecto. En inglés se llamaría "Hosted Familly".

Familia anfitrión: Familia de sistema capaz de servir de soporte a otro una vez colocada en el modelo. Por ejemplo, los muros pueden servir de apoyo a las ventanas, pero también los forjados o los planos de referencia.

Familia anidada: Familia de componente insertada en otra de componente para crear una más compleja .

Familia de componente: Familia creada con criterios paramétricos libres para ser aprovechada en diversos proyecto.

Familia in-situ: Familia creada en el espacio del modelo para su uso excepcional. La tecnología es la misma que se usa en la creación de familias de componente, pero no admiten la creación de tipos ni su exportación como archivo independiente.

Familia receptora: Familia de componente que recibe otra y que, por tanto, dispone de parámetros que controlan los de la familia que se anida.

Gestión integral: comprende las labores de inventario, prospección, excavación, documentación, investigación, mantenimiento, conservación, preservación, restitución, interpretación, presentación, acceso y uso público de los restos materiales del pasado.

GIS: Geographic Information System. Sistema de información geográfico. Base de datos relacional georreferenciada con una base cartográfica digital.

GUI: Grafic User Interface. Siglas con las que se conoce la interfaz gráfica de usuario, es decir, la función de software que permite la comunicación del usuario con la aplicación gráfica.

Halo (Flare): Área extremadamente iluminada en una imagen digital, causada por el efecto de una iluminación muy brillante que incide directamente en un píxel del CCD, el cual influye a su vez en los píxeles próximos a él.

Herramienta BIM: Software diseñado para el análisis de parte de la información de un modelo BIM para obtener simulaciones concretas. Las herramientas BIM generan sus propios modelos de información aprovechando la ya existente en otros y aportando información suplementaria.

HTML: Hypertext Mark-up Language. Código para marcar hipertextos utilizado para crear documentos electrónicos en la www (World Wide Web).

IAI: Acrónimo de International Alliance for Iteroperability . Organización que trabaja para lograr la plena interoperabilidad de las aplicaciones BIM.

IBMR: Image Based Modelling and Rendering. Modelado y aplicación de texturas a partir de fotografías.

IFC: Acrónimo de Industry Foundation Classes. Se trata de un formato neutral para describir modelos de información de especificaciones abiertas que fue ideado por la International Alliance for Interoperability para facilitar la interoperabilidad entre la industria de la construcción.

Implanta: Instalar o inculcar algo .

Implementar: Poner en marcha algo a través de la implantación de los recursos necesarios y su puesta en funcionamiento de manera operativa.

Interactivo: Término que se refiere a la manera de comunicarse entre el sistema del equipo informático o software y el usuario .

Interoperabilidad (en sistemas informáticos): Capacidad de dos aplicaciones de software de intercambiar información a través de la lectura de formatos compatibles de archivos .

JPEG: Joint Photographic Expert. Método de compresión que permite reducir el tamaño de los archivos.

Láser: Light amplification by stimulated emission of radiation. Amplificación de luz mediante la emisión inducida de radiación. Un láser es un haz de luz colimado, monocromático y coherente. También se llama láser al dispositivo que es capaz de generar el haz.

LCD: Liquid Cristal Display. Pantalla que incorporan los dispositivos electrónicos que permiten interactuar con el mismo, ajustar los menús, recibir información, etc.

Lectura masiva: Obtención de coordenadas de gran cantidad de puntos de la superficie de un objeto sin diferenciación de sus características geométricas

Lectura selectiva: lectura selectiva de puntos característicos: aristas, bordes, etc.).

Librería BIM: Conjunto de objetos BIM guardados independientemente en un repositorio con el fin de ser aprovechados en varios modelos o ser compartido entre varios usuarios. BEM Library.

LIDAR: Light Detection And Ranging. Acrónimo del sistema de levantamiento láser. Esta denominación se asocia especialmente a los escáneres aerotransportados.

Línea de ruptura: Empleado en topografía para designar las líneas que representan cambios bruscos de pendiente en la superficie: cresta de talud, pie de talud, divisoria, etc.

LOD: Level of Deatil. Nivel de detalle de una escena. Los programas de realidad virtual aplican un nivel de detalle menor cuanto más alejados están los objetos del hipotético observador, optimizando así el rendimiento de la tarjeta gráfica.

Mapa de desplazamiento: Función definida en las NURBS que muestra las desviaciones entre la superficie SURBS y la malla poligonal original.

Mapas de ajuste: Representación gráfica de las desviaciones dimensionales de un objeto real respecto de las dimensiones teóricas o deseadas.

Mapeado: Asignación de una imagen ráster a una superficie de modo que adapte a su dimensión y forma.

MEP: Acrónimo de Mechanical, Electrical and Plumbing, se refiere a aquellas aplicaciones que sirven para el diseño de las instalaciones de los edificios.

MMC: Multimedia Card. Es uno de los tipos de tarjetas de memoria empleadas por las cámaras digitales.

Modelado sólido: También denominado "modelizado" para distinguir del modelado físico tradicional, es el conjunto de operaciones que se realizan con una aplicación informática capaz de crear, manipular y editar representaciones digitales de modelos sólidos.

Modelar: Acción de crear un modelo de una idea u objeto. Se aplica a modelos tridimensionales, bidimensionales o alfanuméricos.

Modelo BIM: Modelo de información especializado en la descripción de edificios.

Modelo conceptual: Modelo BIM que describe las intenciones y especificaciones generales que debe seguir el proyecto de un edificio .

Modelo constructivo: Modelo BIM con la información necesaria para describir las intenciones de montaje y recursos aproximados para construir determinados elementos de un edificio.

Modelo de diseño: Término con el que se puede referirse a un modelo con el grado de detalle necesario para describir las intenciones de diseño del proyectista. De las fases por lo que pasa un modelo BIM a lo largo de su ciclo de vida, puede corresponder a un modelo conceptual o un Modelo Detallado.

Modelo de fabricación: Modelo BIM con la información necesaria para describir con exactitud el montaje y recursos necesarios para construir determinados elementos de un edificio.

Modelo de información: Modelo que describe una realidad o concepto a través de representaciones de información relativas a los aspectos que la definen, abarcando diversos ámbitos e incluyendo factores de interrelación. Estas características esenciales son luego visualizadas bajo diferentes formatos para su edición o análisis. El objetivo final de un modelo de información es la de permitir simular el comportamiento de una realidad o concepto en toda su complejidad , ofreciendo un entorno para el proceso de los datos que se tiene.

Modelo dinámico: Modelo paramétrico que goza de controladores dinámicos que permiten editarlo en tiempo real emulando mecanismos manipulativos.

Modelo literal: Modelo que describe una realidad o concepto a través de la representación literal de algunos de los aspectos que la definen , sin poder incluir factores de interrelación. El modelo puede contener varias representaciones y las muestra

literalmente. El objetivo de un Modelo literal es el de simular un número limitado de comportamientos de una realidad o concepto.

Modelo paramétrico: Modelo que describe una realidad o idea a través de las representaciones paramétricas de los aspectos que la definen especializándose en un determinado ámbito, enfatizando los factores relacionales.

Modelo sólido: Representación tridimensional digital formada de un objeto a base de vértices, aristas, caras o superficies que crean un espacio cerrado.

Modelo: Descripción de una realidad o concepto que se elabora a fin de facilitar su estudio o desarrollo. Un Modelo se compone de una o más representaciones de aquellos aspectos que se quieren estudiar.

Nube de puntos: Conjunto de puntos cuyas coordenadas espaciales XYZ son conocidas, habitualmente obtenidas mediante procesos de toma de datos masivos (sin distinción de qué puntos se toman, sino qué zonas).

NURBS: Non-uniform rational B-spline. Modelo matemático normalmente usado en diseño asistido por ordenador para generar y representar curvas y superficies. Las NURBS se definen por su orden, un conjunto de puntos de control con pesos asignados, y el vector de nodos. Las superficies NURBS son generalizaciones de las B-splines. Las curvas NURBS evolucionan en sólo una dirección paramétrica, normalmente llamada s o u, y las superficies NURBS evolucionan en dos direcciones paramétricas, llamados s y t o u y v.

Objetivar: Hacer que algo asuma el carácter de objeto. En este contexto, diseñar empleando objetos paramétricos en vez de representaciones literales.

Objeto BIM: Entidad que almacena varias propiedades y que es capaz de interaccionar con otros objetos, en contraposición a las entidades literales que sólo contienen un tipo de información. Un objeto BIM contendrá información para su representación y otras como su nombre, la tipología, el material de sus partes, etc. También conocido bajo el término BEM.

OLE: Object Linking and Embedding. Sistema de vinculación de objetos que permite a los usuarios integrar los datos de aplicaciones diferentes.

Operario: Quien realiza personalmente una acción constructiva .

Parametrizar: Describir un objeto en función de las relaciones entre los factores que lo definen. Un objeto paramétrico es un conjunto de valores (parámetros) y reglas que los relacionan.

Parámetro: Valor de una regla paramétrica, la modificación altera otros parámetros o propiedades del objeto.

Parte: Conjunto de piezas que forman una componente diferenciable de un objeto paramétrico o familia, y que se sitúan en una misma categoría. Por ejemplo el marco es una parte diferente a la hoja de una puerta.

Patch: Parche. Porción de superficie definida por un conjunto de puntos de control.

Patrimonio arqueológico: es el conjunto de elementos materiales, tanto muebles como inmuebles, hayan sido o no extraídos y tanto si se encuentran en la superficie o en el subsuelo, en la tierra o en el agua, que junto con su contexto, que será considerado

también como formante del patrimonio arqueológico, sirven como fuente histórica para el conocimiento del pasado de la humanidad. Estos elementos, que fueron o han sido abandonados por las culturas que los fabricaron, tienen como sello distintivo el poder ser estudiados, recuperados o localizados usando la metodología arqueológica como método principal de investigación, cuyas técnicas principales son la excavación y la prospección, sin menoscabo de la posibilidad de usar otros métodos complementarios para su conocimiento.

Patrimonio: Conjunto de las obras del hombre en las cuales una comunidad reconoce sus valores específicos y particulares y con los cuales se identifica. La identificación y la especificación del patrimonio es por tanto un proceso relacionado con la elección de valores (Carta de Cracovia).

Phong Shading: Método de sombreado suavizado muy sofisticado, creado por Pong Bui-tuon. Se caracteriza por dar brillos especulares precisos en toda la superficie. A cada pixel que representa la imagen se le da su propio color basado en el modelo de iluminación aplicado a ese punto.

Pieza. Cada uno de los sólidos o elementos que componen un objeto paramétrico. El marco de una puerta puede estar compuesto por tres piezas (dos jambas y un dintel).

Píxel: Picture element o elemento de la imagen. Es la parte más pequeña accesible de una imagen digital. Las imágenes se forman como una matriz rectangular de píxeles, donde cada píxel forma un punto en la imagen total.

Pixelado: Es el punto cuadrado que aparece en una imagen de baja resolución o que ha sido demasiado ampliada.

Point could: Nube de puntos

Polilínea: Una colección de n líneas concatenadas, definidas por n +1 puntos que definen los puntos finales de cada segmento de la línea y que un programa de CAD identifica como una sola entidad.

Práctica Integrada: Traducción del inglés Integrated Practice o Integrated Project Delivery (IPD). Se trata de una filosofía para el desarrollo de proyectos de edificación basada en la integración de personas, sistemas, estructuras y prácticas de negocio en un proceso de colaboración que aprovecha el talento y las ideas de todos los participantes para mejorar los resultados los proyectos, aumentando el valor del producto, reduciendo los residuos y maximizando la eficiencia de todas las etapas de la promoción, el diseño, la construcción y la explotación del edificio.

Primitivas: Objetos, 2D y 3D, predefinidos por un programa de CAD. Dependiendo el grado de especialización del programa suelen ser: círculo, cuadrado, arco, plano, esfera, cubo, cilindro, cono, toro, etc.

Procedimiento: Pasos que se hace como parte de un proceso.

Proceso BIM: Proceso planeado que tiene como objetivo la creación de un modelo BIM.

Proceso: Sucesión de fases que se repiten con el fin de transformar algo.

Product Data Model: Término inglés que actualmente se emplea para referirse al modelo de información.

Producto BIM: Traducción del término inglés BIM Delivery. Cualquier información extraída de un BIM en cualquiera de las formas posibles. Se puede tratar de vistas, de láminas para planos, informes, exportaciones de datos o cualquier otro concepto que se pueda obtener gracias al modelado de un BIM.

Propiedad: Calidad intrínseca de un objeto. A diferencia de los atributos, pueden estar vinculados a una regla paramétrica.

Prototipo Digital: Ensayo de un proyecto utilizando un modelo digital que es capaz de simular su comportamiento cuando se ejecute, independientemente de su grado de detalle. Un modelo de información bien elaborado se convierte en un prototipo digital que va ganando prestaciones a lo largo de su desarrollo .

PTS: Extensión empleada en el entorno de las aplicaciones de gestión nubes de puntos, para los archivos de texto que contienen un listado de coordenadas.

Ráster: Modelo de datos empleado como tipo de información gráfica digital basada en la división del espacio en celdas iguales (píxeles) a cada una de las cuales se le asigna un valor representativo de una cualidad, habitualmente el color. Su calidad o precisión de representación está limitada por el tamaño de la celda. Con lo cual un cambio de escala afecta a su precisión.

Realidad aumentada: Escena obtenida por efectos digitales de síntesis integrando efectos de realidad virtual con objetos o escenarios reales.

Realidad virtual: Escena obtenida por efectos digitales de síntesis intentando proporcionar a los sentidos unos estímulos que se parecen lo más posible a los recibidos de la propia realidad.

Reconstrucción virtual: comprende el intento de recuperación visual, a partir de un modelo virtual, en un momento determinado de una construcción u objeto fabricado por el ser humano en el pasado a partir de las evidencias físicas existentes sobre dicha construcción u objeto, las inferencias comparativas científicamente razonables y en general todos los estudios llevados a cabo por los arqueólogos, arquitectos y demás expertos vinculados con el patrimonio arqueológico y la ciencia histórica.

Recreación virtual: comprende el intento de recuperación visual, a partir de un modelo virtual, del pasado en un momento determinado de un sitio arqueológico, incluyendo cultura material (patrimonio mueble e inmueble), entorno, paisaje, usos, y en general significación cultural.

Render o renderizado: Proceso de creación de imágenes realistas mediante modelos matemáticos añadiendo sombras, color y animación a objetos 2D o 3D

Representación de información: Representación paramétrica construida desde un punto de vista polifacético, describiendo y / o relacionando diversos aspectos de una misma idea o realidad.

Representación: Volver a presentar. Cuando esta es una representación literal, contiene sólo la información que es aparente y toda es de una misma naturaleza (por ejemplo un dibujo o una maqueta). Si no lo es, la información que contiene no es siempre aparente y esta interrelacionada a través de leyes paramétricas. En este caso, hablamos de representación paramétrica. Cuando exportamos un modelo compuesto por

representaciones paramétricas o de información a un formato de CAD tradicional, obtenemos una representación literal de algunas de sus datos.

Restauración virtual: comprende la reordenación, a partir de un modelo virtual, de los restos materiales existentes con objeto de recuperar visualmente lo que existió en algún momento anterior al presente. La restauración virtual comprende por tanto la anastilosis virtual.

RGB: Red, Green, Blue. El rojo, el verde y el azul son los colores primarios aditivos. Sumados en igual proporción, producen la luz blanca.

Ruido: Señal no deseada que perjudica la calidad de la imagen. Si se aumenta la sensibilidad ISO, aumenta el ruido en la imagen.

SAT: Formato del archivo para geometría sólida 3D, generado por sistemas que usan el motor de modelado sólido de ACIS.

Shell: Término empleado por los programas de modelado sólido y de manejo de nubes de puntos para designar a un conjunto lógico de caras obtenidas por triangulación de una nube de puntos.

Simulación: Experimentación del comportamiento de un modelo en un determinado aspecto. Los modelos literales permiten hacer simulaciones muy limitadas, mientras que los de información tienen unas capacidades infinitas, ya que sólo se ven limitadas por la cantidad y calidad de la información interrelacionada que contienen.

Sistema arquitectónico: Conjunto de elementos arquitectónicos que desarrollan una función similar. Por ejemplo, en un edificio podemos encontrar el sistema estructural, el de cerramientos exteriores, el de instalaciones de agua caliente, etc.

Tecnología BIM: Metodología de diseño y documentación de una construcción caracterizada por la creación y el uso de información coordinada, consistente y computable durante todo su ciclo de vida.

Tecnología: Conjunto de herramientas, técnicas y conceptos que permiten ejecutar o planificar una tarea mediante unos determinados procesos.

Téxel: De texture element. Es la unidad mínima de una textura aplicada a una superficie.

TIC: Acrónimo de Tecnologías de la Información y la Comunicación. Término que reciben las nuevas tecnologías de gestión de la información y de su transporte, basadas en tecnología informática.

Tiempo real: Se emplea para hacer referencia a que el tiempo de proceso es tan reducido que el usuario de la aplicación no aprecia retraso alguno en la presentación de resultados.

TIFF: Tagged Image Fila Format. Formato de compresión mínima y sin pérdida de calidad.

Time-of-fly: Tiempo de vuelo o "time delay". Tecnología de medición electro-magnética de distancias basada en el cálculo de la distancia recorrida a partir del tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción de una señal emitida hasta que vuelve después de reflejarse en el punto a medir.

TIN: Triangular Irregular Network. Sistema de creación de superficies consistente en la creación de una malla de triángulos a partir de una nube de puntos.

Tipo: Cada uno de los conjuntos de valores paramétricos de una biblioteca o familia de objetos.

Topología: Conjunto de propiedades geométricas de los objetos paramétricos que permanecen inalteradas tras transformarlos. La topología de un objeto establece como es el objeto en sí y cómo se relaciona con el resto.

Vectorial: Modelo de datos gráficos consistente en una base de datos numérica en la que se almacenan las ecuaciones de los elementos geométricos y sus parámetros que permiten ser representados en un dispositivo de salida gráfica, como puede ser un monitor o una impresora. A diferencia de los modelos ráster su precisión es independiente de la escala a la que se representen. Es el sistema que se suele emplear en el almacenamiento digital de entidades geométricas (dibujos técnicos y modelado sólido).

Vectorización: Tarea habitual en edición, GIS y en diseño gráfico. Permite que una imagen de bitmap, generalmente derivada de un escaneo o de otro medio de adquisición, pueda ser convertida en un formato vectorial mucho más manejable y editable.

Vista 3D: Vista dinámica que permite la visualización de las tres dimensiones del objeto.

Vista alfanumérica: Vista del modelo que enumera una serie de aspectos muy concretos en forma de tabla o listados. Por ejemplo, un cómputo de puertas ordenado por niveles y tipos.

Vista bidimensional: Vista estática destinada a mostrar elementos bidimensionales.

Vista dinámica: Vista gráfica que permite la modificación del vector de visualización de forma dinámica.

Vista estática: Vista gráfica que no permite la modificación del vector de visualización de forma dinámica.

Vista IFC: Traducción del término anglosajón IFC View. Conjunto de datos extraídos de un BIM para realizar una transferencia de información en un ámbito concreto, como el diseño estructural o energético, el control de costes, la planificación de obra o cualquier otro. Esta terminología cuadra con el concepto de vista de un BIM, que se refiere a cualquier extracción de información, ya sea en forma gráfica o alfanumérica.

Vista tridimensional: Vista de un modelo que es capaz de mostrar sus tres dimensiones. El mecanismo que se emplea normalmente para lograrlo es que la vista sea dinámica, pero también se puede conseguir por estereoscopía.

Vista: Vista conformada de un modelo. Representación obtenida de manera totalmente automatizada.

Visualización: Visión de un modelo bajo unas determinadas condiciones. En contraposición a una representación, una visualización no implica una regeneración de la información, sino un acceso directo a ella.

Vóxel: De Volume element. Es el componente espacial discreto más pequeño de un volumen digital. Es el equivalente del píxel en un objeto 2D.

VRML: Virtual Reality Markup Language. Lenguaje estándar empleado en Realidad Virtual.

Wireframe: Modelo alámbrico. Un modelo geométrico que describe la geometría 3D mostrando sólo sus aristas o las líneas de la malla que define su superficie.